



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN SECADOR DE BANDEJAS PARA LA
DESHIDRATACIÓN DE PLÁTANO EN LA PARROQUIA
VERACRUZ DEL CANTÓN PASTAZA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: LILIAN ROCIO RUIZ SEPA

TUTOR: ING. MARCO RAUL CHUIZA ROJAS

Riobamba - Ecuador

2016

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo de titulación **“DISEÑO DE UN SECADOR DE BANDEJAS PARA LA DESHIDRATACIÓN DE PLÁTANO EN LA PARROQUIA VERACRUZ DEL CANTÓN PASTAZA”** de responsabilidad de la señorita Lilian Rocío Ruiz Sepa ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Marco Chuiza

**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Mabel Parada

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Lilian Rocío Ruiz Sepa, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 15 de Febrero del 2016

Lilian Rocío Ruiz Sepa

160056858-6

“Yo Lilian Rocío Ruiz Sepa, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de titulación y el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

LILIAN ROCIO RUIZ SEPA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la vida, sabiduría, y permitir culminar mis estudios, a mi madre María Rosa que desde el cielo ha sido mi Ángel guardián que ha cuidado cada uno de mis pasos, a mi padre Ángel que por su amor, esfuerzo y apoyo ha sido mi inspiración para alcanzar esta meta, a mis hermanos Edwin, Jenny y Jefferson por brindarme su cariño en cada momento y alentarme en cada escalón de mi vida, a mi tíos Enriqueta Ruiz Y Rodrigo Cajamarca por darme sus consejos, cariño y apoyo en cada instante.

Lilian

AGRADECIMIENTO

A mi Dios por darme salud, vida y ser mi fortaleza para llegar a cumplir cada una de mis metas.

A mi Padre y hermanos que han sido mi pilar fundamental para seguir adelante y no caer rendida ante un obstáculo, quienes con su cariño, esfuerzo y apoyo incondicional supieron guiarme en el transcurso de mi carrera.

A mis amigos quienes durante toda la carrera demostraron estar en todo momento con su amistad y que han hecho de este ciclo de vida una experiencia inolvidable, llena de bellos y gratos recuerdos.

A la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo quien me abrió las puertas formando como profesional.

A mis maestros en especial a los Ingenieros Marco Chuiza y Mabel Parada por su gran ayuda para llevar a cabo este proyecto con éxito

Lilian

CONTENIDO

RESUMEN	xix
SUMMARY	xx
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	7
1 MARCO TEÓRICO	7
1.1 Plátano	7
<i>1.1.1 Origen y distribución histórica</i>	7
<i>1.1.2 Taxonomía del plátano</i>	8
<i>1.1.3 Clasificación de las especies de plátano y banano</i>	9
<i>1.1.4 Características bioquímicas del plátano</i>	10
<i>1.1.4.1 Agua</i>	10
<i>1.1.4.2 Carbohidratos</i>	10
<i>1.1.4.3 Pigmentos</i>	10
<i>1.1.4.4 Compuestos aromáticos</i>	11
<i>1.1.4.5 Fenoles</i>	11
<i>1.1.4.6 Pectinas</i>	11
<i>1.1.4.7 Lípidos</i>	11
<i>1.1.4.8 Proteínas</i>	12
<i>1.1.4.9 Otros constituyentes</i>	12
<i>1.1.5 Valor nutricional del plátano</i>	12
1.2 Secado	14
<i>1.2.1 Importancia del secado</i>	14
<i>1.2.2 Diferencias con otros tipos de conservación</i>	15
<i>1.2.3 Factores que intervienen en el proceso de secado.</i>	15
<i>1.2.4 Mecanismo del secado</i>	16
<i>1.2.5 Métodos generales de secado</i>	17
<i>1.2.6 Humedad</i>	17
<i>1.2.6.1 Base seca</i>	17
<i>1.2.6.2 Base húmeda</i>	18
<i>1.2.6.3 Humedad de Equilibrio</i>	18

1.2.6.4	Humedad libre.....	18
1.2.6.5	Humedad Ligada	19
1.2.6.6	Humedad desligada	19
1.2.6.7	Humedad Crítica	19
1.2.7	<i>Cinética de secado</i>	20
1.2.8	<i>Períodos de secado</i>	20
1.3	Secador de bandejas.....	27
1.3.1	<i>Configuración básica</i>	28
1.3.1.1	Generador de aire	29
1.3.1.2	Calefactor	30
1.3.1.3	Alimentador	30
1.3.2	<i>Transferencia de calor</i>	30
1.3.3	<i>Ventajas</i>	31
1.4	Diseño	31
1.4.1	<i>Condiciones térmicas</i>	31
1.4.2	<i>Capacidad del equipo.</i>	32
1.4.3	<i>Componentes y características.</i>	32
1.4.4	<i>Controles.</i>	33
1.4.5	<i>Higiene.</i>	33
1.4.6	<i>Especificaciones de Diseño.</i>	33
1.4.6.1	Material	33
1.4.6.1.1	<i>Acero inoxidable AISI 304</i>	33
1.4.6.2	Tapa de la cámara.....	35
1.4.6.3	Forma de la cámara	35
1.4.6.4	Tamaño de la cámara	36
1.4.6.5	Espesor de las paredes de la cámara.....	36
1.4.6.6	Espesor de la tapa de la cámara.....	36
1.4.6.7	Cantidad de producto a secar	36
1.4.6.8	Espesor del producto	36
1.4.6.9	Distancia entre las bandejas	37
1.4.6.10	Altura de las bandejas	37
1.4.6.11	Aislamiento de la Cámara	37
1.4.6.11.1	<i>Lana de vidrio</i>	37
1.4.6.12	Dispositivo utilizado para el calentamiento	38

1.4.6.12.1	Resistencia eléctrica	39
1.4.6.13	Dispositivo utilizado para el flujo de aire (ventilación)	39
1.4.6.13.1	Ventilador.....	39
1.4.6.14	Sistema de Control del secador	39
CAPITULO II		40
2	PARTE EXPERIMENTAL	40
2.1	Localización del estudio	40
2.2	Muestreo	41
2.3	Análisis Bromatológico del plátano.	42
2.4	Simulación del proceso de secado para el plátano.	42
2.4.1	<i>Humedad en base seca</i>	<i>44</i>
2.4.2	<i>Humedad media.....</i>	<i>47</i>
2.4.3	<i>Variación del tiempo</i>	<i>48</i>
2.4.4	<i>Variación de la humedad</i>	<i>48</i>
2.4.5	<i>Velocidad de secado</i>	<i>48</i>
2.4.6	<i>Velocidad antecrítica gráfica</i>	<i>53</i>
2.4.7	<i>Velocidad antecrítica analítica</i>	<i>53</i>
2.4.8	<i>Velocidad poscrítica</i>	<i>53</i>
2.4.9	<i>Tiempo antecrítico.....</i>	<i>54</i>
2.4.10	<i>Tiempo poscrítico gráfico.....</i>	<i>54</i>
2.4.11	<i>Tiempo poscrítico analítico</i>	<i>55</i>
2.4.12	<i>Tiempo total de secado</i>	<i>55</i>
CAPITULO III		56
3	CÁLCULOS Y RESULTADOS	56
3.1	Cálculos	56
3.1.1	<i>Dimensionamiento</i>	<i>56</i>
3.1.1.1	<i>Carga del sólido sobre las bandejas</i>	<i>56</i>
3.1.1.2	<i>Área total de las bandejas</i>	<i>57</i>
3.1.1.3	<i>Área para una bandeja.....</i>	<i>57</i>
3.1.1.4	<i>Espesor de las bandejas.....</i>	<i>58</i>
3.1.1.5	<i>Volumen de las bandejas.....</i>	<i>60</i>
3.1.1.6	<i>Masa de las bandejas</i>	<i>61</i>

3.1.1.7	<i>Longitud de la cámara interna.....</i>	62
3.1.1.8	<i>Ancho de la cámara interna.....</i>	62
3.1.1.9	<i>Altura de la cámara interna.....</i>	63
3.1.1.10	<i>Área de la cámara interna.....</i>	63
3.1.1.11	<i>Volumen de la cámara interna.....</i>	63
3.1.1.12	<i>Longitud de la cámara externa.....</i>	64
3.1.1.13	<i>Ancho de la cámara externa.....</i>	64
3.1.1.14	<i>Altura de la cámara externa.....</i>	65
3.1.1.15	<i>Área de la cámara externa.....</i>	65
3.1.1.16	<i>Volumen de la cámara externa.....</i>	66
3.1.2	<i>Cálculos de Ingeniería.....</i>	66
3.1.2.1	<i>Datos adicionales.....</i>	66
3.1.2.2	<i>Calor necesario para calentar el sólido en el secador.....</i>	67
3.1.2.3	<i>Cantidad de energía eléctrica.....</i>	67
3.1.2.4	<i>Potencia de la resistencia.....</i>	67
3.1.2.5	<i>Resistencia convección al desprenderse vapor de agua del material a secar.....</i>	68
3.1.2.6	<i>Resistencia a la conducción del acero.....</i>	68
3.1.2.7	<i>Resistencia a la conducción aislante térmico lana de vidrio.....</i>	69
3.1.2.8	<i>Velocidad de transferencia de calor (1-2).....</i>	69
3.1.2.9	<i>Velocidad de transferencia de calor (1-3v).....</i>	70
3.1.2.10	<i>Calor útil.....</i>	70
3.2	<i>Resultados.....</i>	71
3.2.1	<i>Resultado del dimensionamiento del secador de bandejas.....</i>	71
3.2.2	<i>Resultados de los cálculos de ingeniería.....</i>	71
3.2.3	<i>Requerimiento presupuestario.....</i>	72
3.2.3.1	<i>Recursos materiales.....</i>	72
3.3	<i>Rentabilidad del proyecto.....</i>	72
3.3.1	<i>Costo-beneficios.....</i>	73
3.3.2	<i>Punto de equilibrio.....</i>	74
3.4	<i>Análisis.....</i>	76
CONCLUSIONES.....		79
RECOMENDACIONES.....		80
BIBLIOGRAFÍA		

ANEXOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>hb</i>	Altura de la bandeja, (m)
<i>hce</i>	Altura de la cámara externa, (m)
<i>hci</i>	Altura de la cámara interna, (m)
<i>ace</i>	Ancho de la cámara externa, (m)
<i>aci</i>	Ancho de la cámara interna, (m)
<i>Aci</i>	Área de la cámara interna, (m^2)
<i>Ab</i>	Área de una bandeja, (m^2)
<i>A</i>	Área expuesta al secado, (m^2)
<i>Atb</i>	Área total de las bandejas, (m^2)
<i>Q</i>	Calor necesario para calentar el sólido, (<i>kcal</i>)
<i>Qutil</i>	Calor útil, (W)
<i>E</i>	Cantidad de energía eléctrica, (KW/h)
<i>Cpl</i>	Capacidad calorífica del líquido, (Kcal/kg°C)
<i>Cps</i>	Capacidad calorífica del sólido, (Kcal/kg°C)
<i>L</i>	Capacidad de la cámara, (kg)
<i>Cb</i>	Capacidad por bandeja, (kg)
$\frac{Ls}{A}$	Carga del solido sobre las bandejas, (kg/ m^2)
<i>h₁</i>	Coeficiente convectivo de trasferencia de calor, (W/ m^2 °K)
<i>k</i>	Coeficiente de conductividad térmica, ($\frac{W}{m^2 K}$)
δ	Densidad del acero AISI 304, (kg/ m^3)
δp	Densidad del plátano, (kg/L)
ΔT	Diferencial de tiempo, (C)
<i>t_D</i>	Esfuerzo de diseño, (lb/pulg ²)
<i>esp_v</i>	Espacio del ventilador, (m)
<i>esp</i>	Espacio entre bandejas, (m)
<i>espr</i>	Espacio para las resistencias, (m)
<i>eb</i>	Espesor de la bandeja, (m)
<i>ta</i>	Espesor de la lámina de acero AISI 304, (m)
<i>espa</i>	Espesor de la lana de vidrio, (m)
<i>espt</i>	Espesor de la tapa, (m)
<i>t</i>	Espesor máximo del plátano, (m)

<i>fs</i>	Factor de seguridad.
<i>P</i>	Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas, (lb/pulg ²)
<i>g</i>	Gravedad, (m/s ²)
<i>h</i>	Horas
<i>X_c</i>	Humedad crítica, (kg agua/kg sólido seco)
<i>X*</i>	Humedad de equilibrio, (kg agua/kg sólido seco)
<i>X</i>	Humedad en base seca del material, (kg agua/kg sólido seco)
<i>Kcal</i>	Kilocalorías
<i>kg</i>	Kilogramos
<i>lb</i>	Longitud de las bandejas, (m)
<i>lob</i>	Longitud de la bandeja, (m)
<i>lci</i>	Longitud de la cámara, (m)
<i>lce</i>	Longitud de la cámara externa, (m)
<i>Mb</i>	Masa de la bandeja, (kg)
<i>m</i>	Metros
<i>Nb</i>	Número de bandejas
<i>m</i>	Peso del material, (kg)
<i>S</i>	Peso sólido seco, (kg)
<i>P</i>	Potencia de la resistencia, (W)
<i>R_{ev}</i>	Resistencia a la conducción del aislante térmico, (K/W)
<i>t_t</i>	Resistencia a la tracción del acero AISI 304, (lb/pulg ²)
<i>R₂</i>	Resistencia a la transferencia de calor por conducción, (K/W)
<i>R₁</i>	Resistencia a la transferencia de calor por convección, (°K/W)
<i>θ_a</i>	Tiempo de secado antecrítico, (h)
<i>θ_p</i>	Tiempo de secado poscrítico, (h)
<i>θ_T</i>	Tiempo de secado total, (h)
<i>Δθ</i>	Variación del tiempo de secado, (h)
<i>ΔX</i>	Variación de la humedad, (kg agua/kg sólido seco)
<i>ΔT</i>	Variación de temperatura del sólido, (°C)
<i>W</i>	Velocidad de secado, (kg/hm ²)
<i>W_c</i>	Velocidad de secado antecrítico, (kg/hm ²)
<i>W_f</i>	Velocidad de secado final, (kg/hm ²)
<i>W_d</i>	Velocidad de secado poscrítico, (kg/hm ²)
<i>q₁₋₂</i>	Velocidad de transferencia de calor, (W)

q_{1-ev}	Velocidad de transferencia de calor, (W)
$V2$	Volumen del pretil ancho de la bandeja, (m^3)
$V3$	Volumen del pretil largo de la bandeja, (m^3)
Vb	Volumen de las bandejas, (m^3)
$V1$	Volumen de la base de la bandeja, (m^3)
Vce	Volumen de la cámara externa, (m^3)
Vci	Volumen de la cámara interna, (m^3)

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Aporte nutricional del plátano	13
Tabla 1-2:	Calibre del acero AISI 304	35
Tabla 2-2:	Análisis bromatológico muestra fresca.....	42
Tabla 3-2:	Análisis bromatológico muestra seca	42
Tabla 4-2:	Datos experimentales del proceso de secado del plátano	43
Tabla 5-2:	Datos experimentales del proceso de secado del plátano	44
Tabla 6-2:	Humedad en base seca.....	45
Tabla 7-2:	Velocidad de secado	49
Tabla 8-2:	Datos obtenidos de la curva de velocidad de secado de la gráfica 1-2.....	52
Tabla 1-3:	Consideraciones para el dimensionamiento	56
Tabla 2-3:	Características mecánicas del acero AISI 304.....	58
Tabla 3-3:	Propiedades físicas del plátano.....	66
Tabla 4-3:	Propiedades físicas del agua.....	66
Tabla 5-3:	Magnitudes aproximadas de algunos coeficientes de transferencia de calor.....	66
Tabla 6-3:	Resultados del dimensionamiento de las bandejas	71
Tabla 7-3:	Resultados del dimensionamiento de la cámara interna del secador	71
Tabla 8-3:	Resultados del dimensionamiento de la cámara externa del secador	71
Tabla 9-3:	Resultado de los cálculos de ingeniería.....	71
Tabla 10-3:	Recursos materiales	72
Tabla 11-3:	Costo de materia prima.....	72
Tabla 12-3:	Cantidad de producto procesado.....	73
Tabla 13-3:	Proyección en venta.....	73
Tabla 14-3:	Costos de producción	73
Tabla 15-3:	Datos para determinar el punto de equilibrio.	735
Tabla 16-3:	Determinación de ventas, costos y utilidades.....	735

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1:	Clasificación de las especies de plátano y banano.	9
--------------------	---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Plátano	7
Figura 2-1:	Taxonomía del plátano.....	8
Figura 3-1:	Curva de secado $x = f(\theta)$	21
Figura 4-1:	Curva de velocidad de secado.....	22
Figura 5-1:	Cálculo del tiempo poscrítico por el método gráfico.	25
Figura 6-1:	Secador de bandejas	28
Figura 7-1:	Configuración básica de un secador.....	29
Figura 1-2:	Ubicación geográfica del cantón Pastaza.....	41
Figura 2-2:	Ubicación geográfica de la parroquia Veracruz.	41

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1-2:	Curva de humedad (70 °C)	46
Gráfica 2-2:	Curva de humedad (60 °C)	46
Gráfica 3-2:	Curva de humedad (50 °C)	47
Gráfica 4-2:	Curva de humedad (40 °C)	47
Gráfica 5-2:	Curva de velocidad de secado (70 °C).....	50
Gráfica 6-2:	Curva de velocidad de secado (60 °C).....	50
Gráfica 7-2:	Curva de velocidad de secado (50 °C)	51
Gráfica 8-2:	Curva de velocidad de secado (40 °C).....	51
Gráfica 9-2:	Inverso de la velocidad vs humedad media	54
Gráfica 1-3:	Punto de equilibrio	75
Gráfica 2-3:	Unidades en función del tiempo (mese).	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A.	Análisis bromatológico– muestra húmeda
Anexo B.	Análisis bromatológico - muestra seca
Anexo C.	Simulación del proceso de secado del plátano.
Anexo D.	Cámara interna del secador de bandejas
Anexo E.	Cámara externa del secador de bandejas
Anexo F.	Bandeja
Anexo G.	Tapa del secador de bandejas
Anexo H.	Despliegue del equipo
Anexo I.	Secciones del equipo

RESUMEN

Se diseñó un Secador de Bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza. Para esto se realizó la simulación de la operación de secado en el secador de tipo armario que existe en el laboratorio. Se obtuvo la curva de secado a la temperatura de 50 °C, dónde se determinó la humedad de equilibrio de 0,04 kg agua/kg sólido seco y la humedad crítica de 0,371 kg agua/kg sólido seco, con estos datos se procedió a realizar el dimensionamiento del equipo para una carga de 10 kg de plátano. El secador constara de una cámara rectangular de 0,92 m de alto, 0,6 m de longitud y 0,53 m de ancho, y constará de 5 bandejas de 0,5 m de largo y 0,4 m de ancho. La resistencia requerida para la calefacción del aire tendrá una potencia de 880,8 W y la circulación del aire dentro de la cámara se hará mediante un ventilador de 1700 rpm. Se utilizará lana de vidrio como aislante teniendo un calor útil de 44337,41 W. Se recomienda respetar la temperatura a la que se debe secar el plátano.

Palabras claves: <SECADOR DE BANDEJA> <SIMULACIÓN> <VERACRUZ [PARROQUIA]> <PLÁTANO> <TEMPERATURA DE SECADO> <TIEMPO DE SECADO> <HUMEDAD> <POTENCIA> <CALOR>

SUMMARY

This research is intended to design and a plantain tray dryer for the dehydration of plantain in Veracruz parish from Pastaza. In this aim, a silulation of drying procedures was carried through the tray dryer from existent lab. Which led us to determine a 50 °C dryng temperatura curve, where the equilibrium wetness accounted for 0,04 kg wáter/kg dried solid and the critica wetness accounted for 0,371 kg wáter/kg dried solid. Thus, these data led us to the further equipment measuring for a 10 kg plantain charge. The dryer consists of a rectangular chamber of 0,92 m high, 0,6 m length, 0,53 m wide, which will have 5 trays of 0,5 m length and 0,4 m wide. The required heating resistance accounts for 880,8 W power and the air circulation into the chamber will be generated by a 1700 rpm ventilator. Glass wool will be used to obtain a 44337,41 W heat and it is advisable to keep in mind hte observance of temperatura at which the plantain must be dried.

Research Key Words: <Tray Dryer> <Silulation> <Veracruz parish> <Plantain> <Drying Temperature> <Drying Time> <Wetness> <Power> <Heat>

INTRODUCCIÓN

El secado es una operación unitaria muy utilizada en las industrias agrícola y alimentaria, por la diversidad de productos tratados, esta es una de las técnicas más antiguas, manipuladas a nivel industrial con el fin de conservar las propiedades nutricionales presentes en los alimentos, los beneficios del secado son la disminución de costos en la transportación, fácil manejo de la materia prima, y la eliminación de procesos de refrigeración y conservantes. En la actualidad el ritmo de vida de los seres humanos ha hecho que la demanda de productos deshidratados sea cada vez mayor por los beneficios, sin embargo en la región amazónica existen pocas investigaciones sobre la cinética de secado de especies vegetales ricas en carbohidratos, como por ejemplo el plátano, yuca, arroz, etc..., que están al alcance del poblador local a un bajo costo.

La presente investigación en la cual se propone utilizar el secado para procesar la gran cantidad de plátano existente en la parroquia de Veracruz promete ser una fuente de ingresos para los moradores y por lo tanto para la economía de la provincia y el país.

El secado ha sido desde los tiempos más remotos, un medio de conservación de los alimentos, además es un proceso muy utilizado a nivel mundial, especialmente en la industria alimenticia y farmacéutica por los beneficios que proporciona. En Nuestro País se utiliza este proceso en gran proporción para la producción de harinas, frutas y vegetales deshidratados, y un sin número de medicamentos, etc. El secado en la industria alimenticia está cada vez más en auge en nuestro país donde el ritmo de vida de sus habitantes requiere el consumo de productos que duren una mayor cantidad de tiempo conservando sus propiedades nutricionales en su mayor parte. En la Amazonía de nuestro país específicamente en el cantón Palora se utiliza el proceso de secado para la deshidratación de hojas de diferentes plantas con el fin de obtener té concentrado que se conserve por mayor tiempo. En la parroquia de Veracruz no existe el secado como un proceso para la obtención de harinas aunque existe la suficiente materia prima para la incursión en este tipo de proceso. Con el presente trabajo de titulación se espera que se pueda iniciar este tipo de producción en esta zona para el crecimiento económico agrícola de la misma.

Es así que como parte de la iniciativa de estos proyectos, los pobladores de este sector en su afán de industrializar y comercializar el consumo de plátano con un valor agregado se han visto en la necesidad de deshidratar este producto para posteriormente transformarlo en harina. Es por esto que se ha considerado realizar el diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano

otorgándole mayor tiempo de conservación, manteniendo al máximo sus nutrientes, y evitando la reproducción de microorganismos.

Para llevar a cabo la presente investigación se realizó la simulación del proceso de secado en el secador tipo armario ubicado en el laboratorio de procesos Industriales de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, con el fin de obtener las variables críticas y los datos necesarios para el diseño del equipo. Los datos que se obtuvieron nos permitieron identificar las variables críticas del proceso de secado de plátano y también proporcionaron la información necesaria para el cálculo de las dimensiones y los requerimientos de calor del equipo.

Debido a la creciente producción de plátano en el sector y comunidades aledañas es importante introducir procesos industriales que permitan dar un valor agregado a este producto, teniendo en cuenta que el plátano tiene múltiples usos en la industria alimenticia. Por otra parte los agricultores de la parroquia cuentan con el apoyo del gobierno mediante la provisión de insumos orgánicos para mejorar sus productos y el apoyo para la generación de pequeñas empresas que contribuyan al desarrollo socioeconómico de las familias.

El secado es una excelente alternativa para los moradores de Veracruz que quieran industrializar sus cosechas de plátano debido al bajo coste y los grandes beneficios que presenta este proceso.

Es por eso que el diseño de un secador de bandejas para la deshidratación del plátano será una manera de aprovechar nuestros conocimientos de ingeniería para incentivar y aportar a la comunidad de nuestra provincia y a la vez reforzar nuestros conocimientos adquiriendo destrezas en el diseño de este tipo de equipos.

ANTECEDENTES

El secado ha sido, desde tiempos remotos, un medio de conservación de alimentos. El agua retirada durante este proceso de secado, deshidratación o concentración, puede ser eliminada de los alimentos por condiciones ambientales o por una variedad de procesos en la que se emplean diferentes técnicas que implican la utilización de medios como calor, aire, frío, y ósmosis.

El secado natural o al sol permite retirar agua hasta niveles del 15 %, que es suficiente en algunos casos. Por este medio se necesita un espacio lo suficiente grande y se debe considerar que los alimentos expuestos al sol son susceptibles a la contaminación y a pérdidas debidas al polvo, insectos y otros factores presentes en el medio.

Por las razones antes mencionadas el secado al sol dio un giro evolucionando a fin de realizarlo en recintos interiores en donde las condiciones pudieran ser controladas en forma más eficiente. Hoy en día el término deshidratación de alimentos se refiere al secado artificial bajo control. Esta eliminación de agua puede ser casi completa y se busca prevenir al máximo los cambios en el alimento, a fin de lograr luego, durante la reconstitución, obtener productos lo más parecidos a los alimentos originarios. Los niveles de humedad remanente llegan alcanzar valores de 1 al 5%, según el producto. Por lo general la calidad lograda en la deshidratación es proporcional al costo del proceso aplicado.

Existen diversos métodos de aplicación del secado y un mayor número de modificaciones de los mismos. El método que se elija depende del tipo de alimento que se va a deshidratar, el nivel de calidad que se puede alcanzar y el costo que se puede justificar. Cada uno de estos métodos tiene un número mayor de variantes que se ajustan a las necesidades de volúmenes y características de productos finales.

A partir de 1950 el proceso de secado se ha venido empleando en la industria química, siendo menos costoso en energía, debido a los avances tecnológicos de secadores que tienen implementado controladores completos que permiten minimizar tiempo durante el proceso, mejorando su funcionamiento.

El secado de diversos productos para la producción de harina como maíz y trigo es cada vez más grande en nuestro país, sin embargo en la parroquia Veracruz se conoce muy poco sobre este proceso,

pero cabe recalcar que la producción de plátano es constante lo que hace suponer una buena alternativa de transformación del plátano en subproductos siendo una excelente opción para diversificar la exportación del mismo dando un valor agregado.

Para la deshidratación del plátano se ha escogido diseñar entre la gama de tecnologías el secador de bandejas ya que proporciona buenos términos de economía y rendimiento que pueden ser utilizadas por pequeñas y medianas empresas, tomando en cuenta que este tipo de secadores son los más simples y baratos de construir así como su fácil manejo y control proporcionando calidad al producto.

JUSTIFICACIÓN

El plátano es un importante recurso que debemos explotar en nuestro país, por esta razón es indispensable enfocar nuestra atención hacia su utilización como producto alimenticio y aprovechar sus facultades de transformación. Además los productores de plátano están desarrollando nuevas formas de utilización de este producto.

Gracias a las características nutricionales que tiene el plátano como potasio, fosforo, magnesio, vitamina A etc., puede ser almacenado y conservado mediante la operación de secado, y ser aprovechado para fines industriales.

Es por esta razón que al no haber este tipo de estudio en el sector se ha decidido diseñar un secador de bandejas para la deshidratación del plátano como un aporte a la comunidad y así aprovechar los recursos que nos ofrece este sector para el desarrollo de la economía agrícola, con el fin de aprovechar el cambio de la matriz productiva.

En la industria química y alimenticia se utilizan mucho los secadores de sólidos para quitar la humedad a los productos. Siendo el secador de bandejas uno de los más utilizados para trabajar por sus ventajas que nos brinda como operar en forma discontinuo y su facilidad en el uso así como la protección del operario y del producto.

OBJETIVOS

GENERAL

Diseñar un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza.

ESPECÍFICOS

- Realizar los análisis bromatológicos para el plátano.
- Simular la operación unitaria de secado en el laboratorio.
- Identificar las variables de proceso para el diseño del secador.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del equipo

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Plátano

1.1.1 Origen y distribución histórica



Realizado por: Lilian Ruiz

Figura 1-1: Plátano

Los plátanos tienen su origen en las regiones del Sudeste de Asia y del Pacífico en cuyos bosques de vegetación natural pueden encontrar ejemplares ancestrales, los pobladores locales descubrieron que tales plantas tenían frutos comestibles y podían ser propagadas vegetativamente por retoños y de esta manera se seleccionaron cruces superiores comestibles que luego fueron cultivados, propagados y distribuidos localmente como cultivo de subsistencia.

Los plátanos han alcanzado gran importancia como cultivo de subsistencia o de intercambio en regiones alejadas de sus centros primarios de origen. El gran negocio exportador de bananas procedentes de América Central y del Caribe comenzó a finales del siglo XIX y se expandió considerablemente con la introducción del transporte refrigerado. Este comercio está basado casi exclusivamente en un pequeño número de cultivares de plátano (*M. acuminata*) de los que un 95% son tipo *Cavendish*.

1.1.2 Taxonomía del plátano



Realizado por: Lilian Ruiz

Figura 2-1: Taxonomía del plátano

El plátano es una planta *herbácea* es decir una hierba gigante. El tallo verdadero es corto y permanece soterrado, no sobresaliendo apenas del suelo hasta la época de la floración; por esta posición se le designa comúnmente como *rizoma* o mejor como *bulbo*, términos botánicamente discutibles en este caso, pero prácticamente utilizados en todos los países tropicales.

Este corto tallo subterráneo emite ramificaciones laterales que brotan del suelo a su alrededor y a las que denominamos retoños. Salen además del bulbo numerosas raíces cordiformes, tiernas y que comportan finas cabelleras radiculares.

El *meristema terminal* del tallo produce, todavía muy joven, hojas que poseen una parte basal bien desarrollada, a la que llamamos vainas foliar. Sucesivamente van apareciendo hojas dispuestas en forma helicoidal y el conjunto, con las vainas fuertemente imbricadas, pero que no es más que un falso tronco del plátano. Es cilíndrico, recto y rígido, llegando su altura a veces hasta los 6 u 8 metros.

La parte superior de la vaina se afina en un robusto pecíolo prolongado en una nerviación central, a cuyos lados se extienden las dos partes simétricas del limbo, formando un conjunto ovoidal y de grandes dimensiones. Las hojas nuevas aparecen en la parte superior del falso tronco y se desenvuelven posteriormente.

1.1.3 Clasificación de las especies de plátano y banano

CUADRO 1-1: Clasificación de las especies de plátano y banano.

Familia: Musasea				
Género: Musa				
Sección: Eumusa				
Especie	Grupo	Subgrupo	Clones	Otros nombres
Musa acuminata	Diploide AA	Sucrier	Baby banana	Lady'SFinger
		Gros michel	Gros michel	Orito
	Triploide AAA	Cavendish	Gran Naine	Gran enano
			Dwarf Cavendish	Cavendish
			Valery	Rubusta
			Lacatan	Filipino
			Williams	
			Rojo y Rojo-verde	Morado
Musa Balbisiana	Triploide AAB	Plantain	French plantain	Dominico
			Hornplantain	Barraganete
			Dominico Harton	
			Maqueño	
			Manzano	
			Limeño	
	Triploide ABC	Plantain	Cuatrofilios	
			Pelipita	
	Tetraploide AAAB		FHIA4	
			FHIA 21	

Fuente: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2013/09/PROEC_AS2013_BANANO.pdf

La firmeza del banano es una importante característica de calidad de cosecha. La misma podría ser utilizada como un índice de madurez/maduración. También podría facilitar la comparación de la tasa de ablandamiento del banano.

1.1.4 Características bioquímicas del plátano

1.1.4.1 Agua

El agua es el componente más abundante de la pulpa y de la piel de la banana, siendo el contenido en agua más abundante en la banana que en el plátano. El porcentaje de agua en la pulpa aumenta durante la maduración debido a la degradación de almidón originada por la respiración y el movimiento osmótico del agua desde la piel a la pulpa. En una banana totalmente madura el agua representa el 75% de la masa de la pulpa frente a un 66% en el caso de los plátanos.

1.1.4.2 Carbohidratos

El principal cambio en la pulpa de la fruta durante el proceso de maduración consiste en la conservación de almidón en azúcares, estando la coloración de la piel estrechamente correlacionada con la relación azúcar/acidez. El almidón disminuye desde un 20-23% en el momento de la recolección hasta un 1-2% en el fruto maduro. Los azúcares aumentan aproximadamente en la misma proporción. Al comienzo del estado de maduración, la proporción de azúcar es de alrededor de 65:20:15 (sacarosa: glucosa: fructosa), lo que indica que la sacarosa aparece en primer lugar y posteriormente los azúcares de tipo hexano. La conversión de almidón en azúcares alcanza su máximo 2 días tras producirse el pico de etileno.

Los plátanos de cocinar son más ricos en almidón que las bananas. En el momento de plena madurez el almidón ha desaparecido casi totalmente de las bananas, mientras que la degradación de almidón y la síntesis de azúcares continua incluso más allá del momento de plena madurez durante la senescencia del fruto.

1.1.4.3 Pigmentos

El color de la piel cambia durante la maduración de verde oscuro a amarillo brillante debido a la degradación de la clorofila que gradualmente desenmascara los pigmentos carotenoides también presentes en la piel. Estos procesos tienen lugar fácilmente a temperaturas de maduración de 16-18°C, pero cuando la maduración se produce de forma natural a temperatura por encima de 25 °C, se paraliza la degradación de la clorofila mientras que la pulpa madura rápidamente.

1.1.4.4 Compuestos aromáticos

El aroma característico de una banana en proceso de maduración se debe a la combinación de numerosos compuestos volátiles que aún no se conocen en su totalidad. Estos compuestos se producen durante el proceso de maduración siguiendo diferentes procesos metabólicos que incluyen la formación de ésteres, acetatos, alcoholes y compuestos carbonilos. Conforme avanza la maduración, la emisión de aromas aumenta hasta que la piel se torna de color marrón, momento a partir del cual el aroma disminuye. Se han observado un total de 300 componentes del aroma producidos durante el proceso de maduración de los frutos del banano.

1.1.4.5 Fenoles

Los compuestos fenólicos son los responsables de ciertas reacciones que originan el pardeamiento. El pardeamiento está ligado a la oxidación enzimática de compuestos fenólicos (siendo la dopamina el principal de ellos), mediada por la enzima polifenoloxidasas. En el momento de la cosecha la piel contiene el doble del contenido total en polifenoles de la pulpa. El excesivo pardeamiento de los fenoles en los vasos laticíferos de la piel, inducido por temperaturas inferiores a 13°C, es importante desde el punto de vista comercial y origina el desorden llamado "decoloración interna de la piel".

1.1.4.6 Pectinas

La pulpa madura contiene entre 0,5 y 0,7% de pectinas. Conforme avanza la maduración aumenta las pectinas hidrosolubles y disminuye las pectinas insolubles, lo que se asocia con el ablandamiento de la pulpa. Estos cambios están catalizados por la pectinmetilesterasa cuya actividad permanece constante durante la maduración.

1.1.4.7 Lípidos

La concentración de lípidos permanece bastante constante durante el proceso de maduración. Los lípidos representan alrededor del 1% del peso fresco de la piel y entre el 0,2 y el 0,5% de la pulpa de bananas y plátanos. Los escasos componentes lípidos presentes son en su mayoría ácidos grasos poliinsaturados, particularmente el ácido linolénico, siendo nulo el contenido en colesterol.

1.1.4.8 Proteínas

Aunque el contenido en proteínas de las bananas maduras es solo del orden de un 1,1% de su composición total, se encuentra algunos importantes aminoácidos esenciales como la lisina. En la pulpa de las bananas Cavendish el contenido total de aminoácidos libres aumentan desde 330-375 mg/100 g en peso fresco cuando están verdes hasta 2.700-3.500 mg/100 g cuando están sobre maduros. Los aminoácidos predominantes en el estado de plena madurez son la histidina, la asparragina y la glutamina.

1.1.4.9 Otros constituyentes

Los ácidos málico, cítrico y oxálico son los principales ácidos orgánicos. El pH disminuye durante la maduración mientras que aumenta la acidez libre en la pulpa (pH 4,0 en el estado de plena madurez).

Las bananas contienen alrededor de un 0,8% de fibra en la pulpa y algo más en la piel. Los polisacáridos insolubles no celulósicos son los componentes más abundantes de la fibra.

Las bananas son una buena fuente de vitamina C (ácido ascórbico). Las vitaminas A y B también están presentes en la pulpa, siendo la vitamina B6 (ácido pantoténico y piridoxina) de particular relevancia como componente de la pulpa en comparación con otros frutos.

1.1.5 Valor nutricional del plátano

El plátano es un alimento nutritivo y energético. Es pobre en proteínas y lípidos, aunque su contenido en estos componentes supera al de otras frutas. En su composición destaca su riqueza en hidratos de carbono. En el plátano inmaduro el hidrato de carbono mayoritario es el almidón, pero a medida que madura, este almidón se va convirtiendo en azúcares sencillos como sacarosa, glucosa y fructosa. Por ello, el plátano es una fruta suave y bastante digerible siempre que esté maduro. Y esto, junto a su riqueza en potasio, lo hace recomendable en diversas patologías gastrointestinales como las úlceras. Sin embargo, el almidón hace al plátano verde difícil de digerir, resultando indigesto y pudiendo originar flatulencias y dispepsias.

Por otro lado, el plátano no está contraindicado en diabéticos, a pesar de su contenido en hidratos de carbono, ya que los azúcares del plátano se absorben lentamente, sin provocar una subida rápida de

los niveles de glucosa en sangre. Además, el plátano contiene inulina y otros frutos oligosacáridos no digeribles por las enzimas intestinales, que alcanzan el tracto final del intestino y tienen efectos beneficiosos sobre el tránsito intestinal. La inulina puede contribuir a la reducción del riesgo de enfermedades degenerativas como las enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo II, obesidad, osteoporosis o cáncer, mediante la producción de compuestos derivados de la fermentación colónica, estimulación del sistema inmune, aumento de la biodisponibilidad de minerales y metabolismo de lípidos.

El plátano es rico también en magnesio y algo menos en potasio. Este último ayuda a prevenir calambres lo que, combinado con la energía que proporciona, lo convierte en una fruta ideal para reponerse durante actividades deportivas. Además, provee una cantidad de sodio muy baja. Al ser rico en potasio y pobre en sodio, el plátano es un alimento adecuado en caso de hipertensión. En cuanto a las vitaminas, el plátano contiene cantidades apreciables de vitamina B6 y vitamina C.

Tabla 1-1: Aporte nutricional del plátano

	Por 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	94
Proteínas (g)	1,2
Lípidos totales (g)	0,3
AG saturados (g)	0,11
AG monoinsaturados (g)	0,04
Colesterol (mg/1000 kcal)	0
Hidratos de carbono (g)	20
Fibra (g)	3,4
Agua (g)	75,1
Calcio (mg)	9
Hierro (mg)	0,6
Magnesio (mg)	38
Zinc (mg)	0,23
Sodio (mg)	1
Potasio (mg)	350
Fosforo (mg)	28
Tiamina (mg)	0,06
Riboflavina (mg)	0,07
Vitamina B6 (mg)	0,51
Vitamina C (mg)	10
Vitamina E (mg)	0,2

Fuente: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/platano_tcm7-315357.pdf

1.2 Secado

“La operación de secado consiste en la eliminación o reducción de la humedad en forma de vapor, presente en un material u otras sustancias, mediante evaporización con una corriente gaseosa que generalmente suele ser aire, implicando transferencia de calor y transporte de masa.

El propósito de secado de una planta es extraer la humedad que contiene hasta un nivel que se considere seguro para evitar que esta se pudra, enferme o pierda las sustancias activas, además permitir su almacenamiento por un tiempo determinado antes de su utilización.

El secado es el paso más importante para lograr un producto de óptima calidad, ya que de este depende que el producto esté en condiciones de comercializarse, consumirse y conservarse por períodos prolongados.” (OCON Y TOJO, 1980)

1.2.1 Importancia del secado

Uno de los motivos para el secado de los alimentos es su conservación; sin embargo hay otras razones para llevar a cabo este proceso y son:

- Obtener un producto con el grado de humedad que exige la comercialización.
- Evitar cambios físicos o químicos por un exceso de humedad.
- Disminuir los costos de manejo, transporte, empaque y almacenamiento.
- Adecuar el material para procesos ulteriores.
- Eliminar la humedad adquirida en operaciones previas.
- Recuperar subproductos.
- Obtener productos que favorezcan al consumidor.

Las normas de comercialización establecen contenidos máximos de humedad para productos alimenticios y en muchas ocasiones se hace necesario el secado para lograr los valores prefijados como es el caso de los cereales que se admiten con un máximo del 15% de humedad, cuando las condiciones climáticas dejan productos del 18% o aún más de humedad.

Así no ocurran cambios microbiológicos que deterioren los productos, la humedad puede favorecer cambios físicos o químicos como el color, la textura y aún el sabor en productos de panificación o

repostería.

Los productos deshidratados ocupan menor volumen y tienen menor peso que los productos originales, consecuentemente los costos del manejo en general se ven disminuidos favoreciendo tanto al productor como al comprador. Los huevos deshidratados pesan la quinta parte y ocupan una sexta parte del volumen de los naturales y se pueden conservar en condiciones ambientales sin necesidad de refrigeración.

El manejo de materias primas implica el tener cantidades adecuadas, así su consumo diario sea relativamente bajo. El empleo de productos desecados permite extraer partes del material sin que se afecte el resto o se modifiquen las condiciones de almacenamiento, favoreciendo así el manejo.

1.2.2 Diferencias con otros tipos de conservación

- **“Congelación:** los alimentos se someten a cambios de temperaturas bruscos y extremos que desvirtúan la calidad de los nutrientes. El agua se convierte en cristales de hielo, alterando la estructura molecular del alimento, motivo por el que una vez descongelados los productos pueden tener un sabor y consistencia distinta al del producto original. No se recomienda consumir alimentos que hayan estado congelados durante más de 6 meses.
- **Enlatado:** hay que someter los alimentos a temperaturas muy altas para asegurarse de la no proliferación de bacterias ni esporas, con lo que hay cambios moleculares en todos los nutrientes. Los alimentos pueden mantenerse años en latas de aluminio con plastificantes en su interior, con la toxicidad que esto supone.
- **Salmuera y salazones:** acidifican los alimentos.
- **Radiación:** consiste en exponer los alimentos a rayos gamma o rayos X para destruir microorganismos, retrasar la germinación y la maduración.” (Martha Villen, 2012. <http://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/>)

1.2.3 Factores que intervienen en el proceso de secado.

- **Temperatura del aire:** Para elegir la temperatura considera la especie que se va a someter al secado. Estos niveles diversos de temperatura se mantienen durante el proceso técnico de secado.

Durante el secado se forma una gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que va reduciéndose conforme disminuye el contenido de humedad.

- **Humedad relativa del aire:** la humedad del aire se define como, a razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión saturación de vapor de agua a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje (%) y a medida que se incrementa la temperatura aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.
- **Velocidad del aire:** tiene dos funciones importantes, la primera transmitir la energía necesaria para calentar el agua contenida en el material facilitándose su evaporación, y la segunda, transportar la humedad saliente del material. Para obtener un secado rápido y uniforme es recomendable una circulación de aire regular.

1.2.4 Mecanismo del secado

“Durante el secado tiene lugar simultáneamente una transferencia de calor hacia el sólido y una transferencia de materia (agua) desde el sólido al fluido desecante. La operación de secado en general está controlada por los dos fenómenos porque ambas resistencias, a la transferencia de calor y de materia, son significativas.

Los mecanismos por los que se transmite el calor son:

- Convección del gas a la superficie del sólido: por lo que tendremos un coeficiente de transferencia del calor h . Como el calor se transmite por la superficie el área externa tendrá importancia. En esto influye la forma y el estado de agregación del sólido.
- Conducción de la superficie al interior del sólido: que dependerá de las dimensiones del sólido y de su conductividad k .

La conductividad del sólido puede ir variando conforme avanza el secado. También es usual, especialmente en alimentos, que se produzca contracción, endurecimiento superficial o ambas cosas.

Los mecanismos de la transferencia de materia (agua) son:

- Convección de la superficie del sólido al gas. Aparecerá, por tanto, el coeficiente de transferencia por convección kg. El resto de las consideraciones son idénticas que lo dicho para el calor.
- Difusión del vapor de agua, de las aguas líquidas o ambas del interior desde el interior de sólido. Aparecen las correspondientes difusividades.
- Transporte por capilaridad, según el alimento o sólido del que se trate.”(BRITO H, 2006)

1.2.5 *Métodos generales de secado*

- **Evaporación**

Esta ocurre cuando la presión del vapor en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de temperatura del líquido a evaporar hasta su punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre, puede ser disminuida, bajando la presión (evaporación al vacío).

- **Vaporización**

El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire enfriará al producto y la humedad será transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor sobre el sólido es menor que la presión atmosférica.

- **Liofilización**

El agua se sublima directamente del material congelado.

1.2.6 *Humedad*

1.2.6.1 *Base seca*

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa del sólido seco}}$$

Ecuación 1

“Dónde:

X_{BS} = Humedad del sólido en base seca (kg agua/kg sólido seco)

1.2.6.2 Base húmeda

$$X_{BH} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa del solido húmedo}}$$

Ecuación 2

Dónde:

X_{BH} = Humedad del sólido en base húmeda (kg agua/kg sólido seco).

Se aplica para determinar la humedad en el suelo, materiales de construcción, aire.

1.2.6.3 Humedad de Equilibrio

Cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzarán las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo.

Tiene innumerables aplicaciones en el secado, almacenamiento y manejo de los productos agrícolas.

1.2.6.4 Humedad libre

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire en las condiciones determinadas y constantes.

$$H_L = X - X^*$$

Ecuación 3

Dónde:

H_L = Humedad libre (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X = Humedad del sólido (Kg de agua/Kg de sólido seco).

X^* = Humedad de equilibrio (Kg de agua/Kg de sólido seco).

Los granos que contienen humedad libre cumplen un papel biológico y puede permitir las reacciones químicas (enzimáticas), además del desarrollo de hongos.

1.2.6.5 Humedad Ligada

Es la humedad mínima necesaria para que el sólido deje de comportarse como higroscópico, o bien es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado.

Esta se aplica en la industria alimenticia, se encuentra en los alimentos con agua de cristalización (hidrato) o ligada a las proteínas. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a la temperatura que lo carboniza.

1.2.6.6 Humedad desligada

Es la diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; y representa al agua que está absorbida (no adsorbida), empapando el sólido, retenida pero sin interactuar con el sólido. O bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado. Es evidente que si el sólido tiene humedad desligada se comportará como húmedo.

Esta humedad en la que se aplica al agua que llena los capilares grandes, espacios intercelulares, etc..., y la que está contenida en los geles” (OCON Y TOJO, 1980).

1.2.6.7 Humedad Crítica

“La humedad crítica de un sólido es el punto que separa los dos períodos de secado antecrítico y poscrítico.

- *Período antecrítico:* Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.
- *Período poscrítico:* Es el período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio” (BRITO H, 2006).

1.2.7 Cinética de secado

“Se define la velocidad del secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

$$W = \frac{S}{A} \left(- \frac{dX}{d\theta} \right)$$

Ecuación 4

Dónde:

W = Velocidad del secado (kg/m²h).

S = Peso del sólido seco (kg).

A = Área de la superficie expuesta al secado (m²)

X = Humedad en base seca (kg agua/kg sólido seco).

θ = Tiempo de secado (h).

La cinética de secado se aplica para determinar la cantidad de agua que queda en la superficie en un determinado tiempo en industrias químicas.

Se aplica para:

- Procesos de granulación húmeda (elaboración de cápsulas, polvos o tabletas).
- Producción de algunos materiales (hidróxido de aluminio, lactosa seca y extractos en polvo).
- Reducción del volumen y peso de los materiales (disminución del costo por transporte y almacenamiento)” (OCON Y TOJO, 1980).

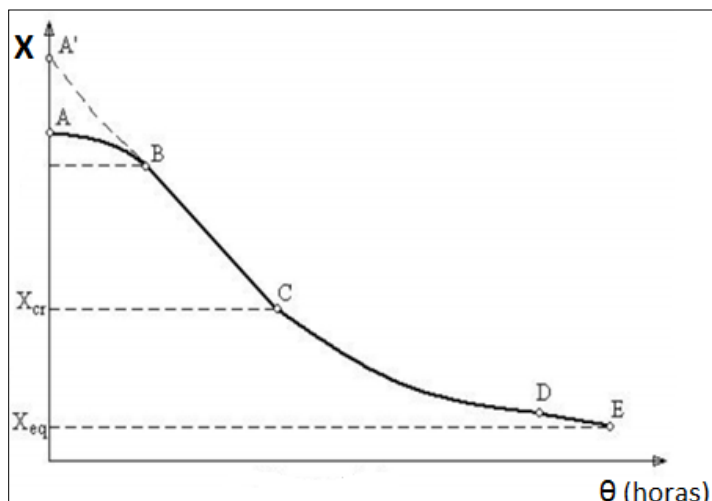
1.2.8 Períodos de secado

“Cualquiera que sea el tipo de instalación a emplear para determinar la capacidad del equipo o el tiempo de secado es necesario efectuar ensayos de velocidad de secado del material a condiciones constantes de secado. A intervalos regulares se determina por pesada la humedad del cuerpo de los datos de humedad y tiempo se deduce la curva de velocidad de secado.

Para que los datos obtenidos tengan mayor semejanza con las condiciones que han de prevalecer en la operación en gran escala es necesario observar las siguientes precauciones:

- El material estará soportado en la misma forma que lo ha de estar posteriormente (sobre bastidores, bandejas, etc.).
- Se mantendrá la misma relación entre superficie exterior expuesta y superficie no expuesta al secado.
- Se dispondrán condiciones análogas de recepción de calor radiante.
- Es conveniente realizar ensayos con muestras de diferentes espesores.

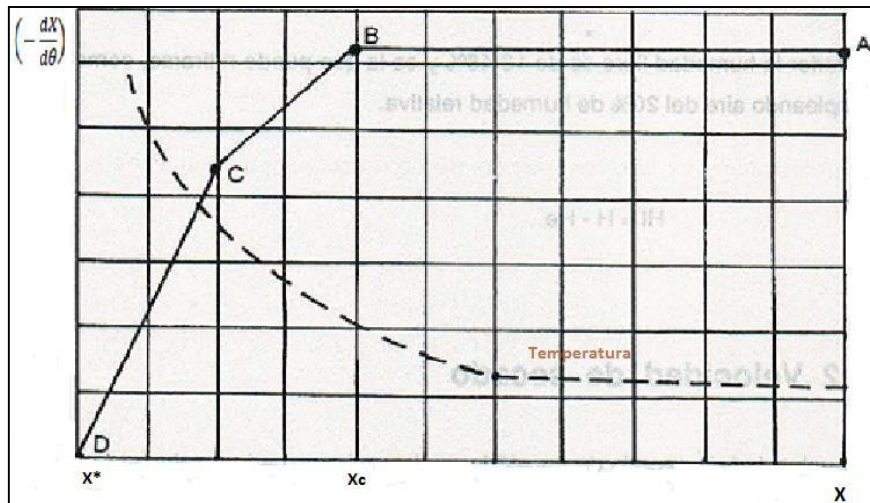
En la figura 3-1 se representa la curva humedad - tiempo de una muestra sometida a un ensayo de secado. La humedad disminuye continuamente desde el valor inicial (punto A) y finalmente se aproxima como límite a la humedad de equilibrio que corresponde a las condiciones constantes del aire.



Fuente: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II pp. 244, 2014

Figura 3-1: Curva de secado $X = f(\theta)$

Se obtiene la curva de velocidad de secado en la figura 2-1, en la que aparecen varios tramos diferentes:



Fuente: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II Pp. 246. 2014

Figura 4-1: Curva de velocidad de secado

Tramo A-B: Período de Inducción o Ajuste: El sólido comienza a calentarse y con ello crece la velocidad de evaporación. Esto se aprecia porque la masa del sólido (directamente relacionada con X) decrece con el tiempo cada vez más rápidamente. Eventualmente el calor penetra hasta al centro y la velocidad se hace máxima.

Tramo B-C: Período Antecrítico o de Velocidad de Secado Constante: Velocidad de secado constante y máxima. X vs t es una recta de pendiente máxima. La velocidad de secado se hace constante. Es esta zona se está evaporando la humedad no ligada. La velocidad es máxima porque los mecanismos de transporte de agua desde el interior del sólido a la superficie son lo suficientemente rápidos para compensar la evaporación. El agua se elimina conforme llega a la superficie el calor suficiente para vaporizarla.

Se distinguen así dos períodos importantes de secado:

- Período de velocidad constante:* Llamado período antecrítico.
- Período de velocidad decreciente:* Llamado período poscrítico.

Tramo C-D: Primer Período Poscrítico: Es el primer período de secado o período de velocidad de secado decreciente, en el que la velocidad varía linealmente con la humedad.

Etapas D-E Segundo Período Poscrítico: Aquí se pierde la relación anterior” (OCON Y TOJO, 1980).

“La cinética de secado puede aplicarse para:

- Conservación y estabilidad de productos animales y vegetales para disminuir el crecimiento de hongos y bacterias.
- Volver a un producto más estable (polvos higroscópicos, sales efervescentes, aspirina, penicilinas y ácido ascórbico). Una vez eliminada el agua, el producto se mantiene a bajos niveles de humedad con ayuda de agentes desecantes o por impermeabilidad del empaque.”(OCON Y TOJO, 1980)

Durante el periodo de secado se determina los siguientes parámetros para analizar el comportamiento de secado durante el tiempo que transcurra dicho proceso.

Siendo los siguientes:

- **Velocidad del periodo antecrítico (W_c)**

“Puesto que en este período la superficie del sólido está totalmente húmeda y cubierta por una capa líquida, la evaporación solo dependerá de la velocidad de difusión del vapor o de la transmisión de calor a través de la capa límite del aire. La superficie mojada se comporta como superficie de agua libre, por tanto el tiempo antecrítico será igual a:

$$W_c = \frac{S}{A} \left(- \frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

Ecuación 5

Dónde

W_c = Velocidad de secado periodo antecrítico (kg/m²h)

A = Superficie expuesta al secado (m²)

S = Sólido seco (kg)

X_i = Humedad inicial del sólido (kg agua/kg sólido seco)

X_c = Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco)

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo de secado (h)

- **Velocidad del periodo poscrítico (W_D)**

Este periodo por lo general puede dividirse en dos tramos: uno en la que la velocidad de secado varía linealmente con la humedad desde el punto crítico (primer periodo poscrítico), y otro en que no se cumple esta variación lineal (segundo periodo poscrítico), aunque no puede presentar esta separación neta entre ambos tramos.

$$W_D = W_C - \frac{X_C - X}{X_C - X_f} (W_C - W_f)$$

Ecuación 6

Dónde:

W_D = Velocidad de secado poscrítica (kg/m²h)

W_C = Velocidad de secado antecrítico (kg/m²h)

X_C = Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco)

X = Humedad en cualquier instante (kg agua/kg sólido seco)

X_f = Humedad final del sólido (kg agua/kg sólido seco)

W_f = velocidad de secado final (kg/m²h)

- **Tiempo de secado en el periodo antecrítico (θa)**

$$\theta a = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

Ecuación 7

Dónde:

θa = Tiempo antecrítico (h)

W_c = Velocidad de secado constante (kg/m²h)

A = Superficie expuesta al secado (m²)

S = Sólido seco (kg)

X_i = Humedad inicial del sólido (kg agua/kg sólido seco)

X_c = Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco)

- **Tiempo de secado en el periodo poscrítico (θp)**

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{X_f}^{X_c} \frac{dx}{W}$$

Ecuación 8

Dónde:

W = Velocidad de secado constante ($\text{kg/m}^2\text{h}$)

A = Superficie expuesta al secado (m^2)

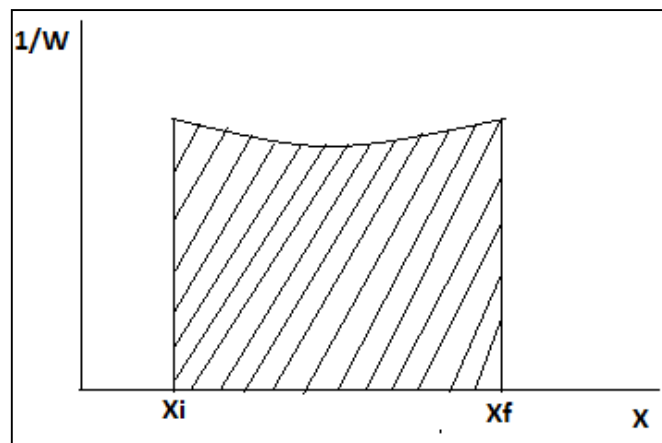
S = Sólido seco (kg)

dX = Variación de la humedad en base seca ($\text{kg agua/kg sólido seco}$)

$\Delta\theta$ = Variación del tiempo de secado (s)

Este se lo puede realizar por dos métodos:

- a) **Método Gráfico:** Este método se lo utiliza cuando no se conoce la relación analítica $W=f(X)$, la integración de la ecuación 9ha de hacerse gráficamente representando X frente $1/W$, el área limitada bajo la curva será el valor de esta integral, en la cual el eje de las abscisas y las ordenadas extremas X_c y X_f .



Fuente: OCON TOJO. Problemas de ingeniería química tomo II Pp.247,

Figura 5-1: Cálculo del tiempo poscrítico por el método gráfico.

- b) **Método Analítico:** Si la velocidad de secado varía linealmente con la humedad desde la humedad crítica hasta la humedad final, la integración de la ecuación 8 nos queda:

$$\theta_P = \frac{S}{A} \frac{X_c - X_f}{W_c - W_f} \ln \frac{W_c}{W_f} = \frac{S}{A} \frac{X_c - X_f}{W_{log}}$$

Ecuación 9

Dónde:

θ_P = Tiempo de secado en el período poscrítico (h)

S = Peso del sólido seco (kg)

A = Área de la superficie expuesta (m^2)

X_f = Humedad final (kg agua/kg sólido seco)

X_c = Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco)

W_c = Velocidad del secado (kg/m^2h)

W_f = Velocidad del secado final (kg/m^2h)

En el caso que no se conozca la forma en cómo varía la velocidad de secado y suponiendo una variación lineal desde la humedad crítica hasta la de equilibrio se tiene la siguiente ecuación aproximada:

$$\theta_P = \frac{S}{A} \frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \frac{X_c - X^*}{X_f - X^*}$$

Ecuación 10

Dónde:

θ_P = Tiempo de secado poscrítico (h).

S = Peso del sólido seco (kg).

A = Área de la superficie expuesta (m^2).

X^* = Humedad de equilibrio (kg agua/kg sólido seco).

X_c = Humedad crítica (kg agua/kg sólido seco).

X_f = Humedad final (kg agua/kg sólido seco).

W_c = Velocidad del periodo constante (kg/m^2h).

- **Cálculo del Tiempo Total (θ_T).**

Es la sumatoria de los tiempos en el período antecrítico y poscrítico.

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

Ecuación 11

Dónde:

θ_T = Tiempo total de secado.

θ_a = Tiempo de secado antecrítico.

θ_p = Tiempo de secado poscrítico.

La velocidad de secado tiene aplicación en la selección de secadores rápidos y su optimización, y en el diseño de secadores” (OCON Y TOJO, 1980).

1.3 Secador de bandejas

Un secador de bandejas también llamado de charolas o de anaqueles es un equipo totalmente cerrado y aislado en el cual los sólidos que pueden encontrarse en forma de pasta o terrones, se colocan en grupos de bandejas que pueden ser cuadradas o rectangulares de 10-100 mm de profundidad, y se fabrican de cualquier material que sea compatible con las condiciones de corrosión y temperatura prevalecientes.

Cuando las características del material y el manejo lo permitan, las bandejas deben tener bases perforadas para proveer una mayor superficie de secado. En general, se prefiere las bandejas metálicas, ya que conducen el calor con mayor facilidad.

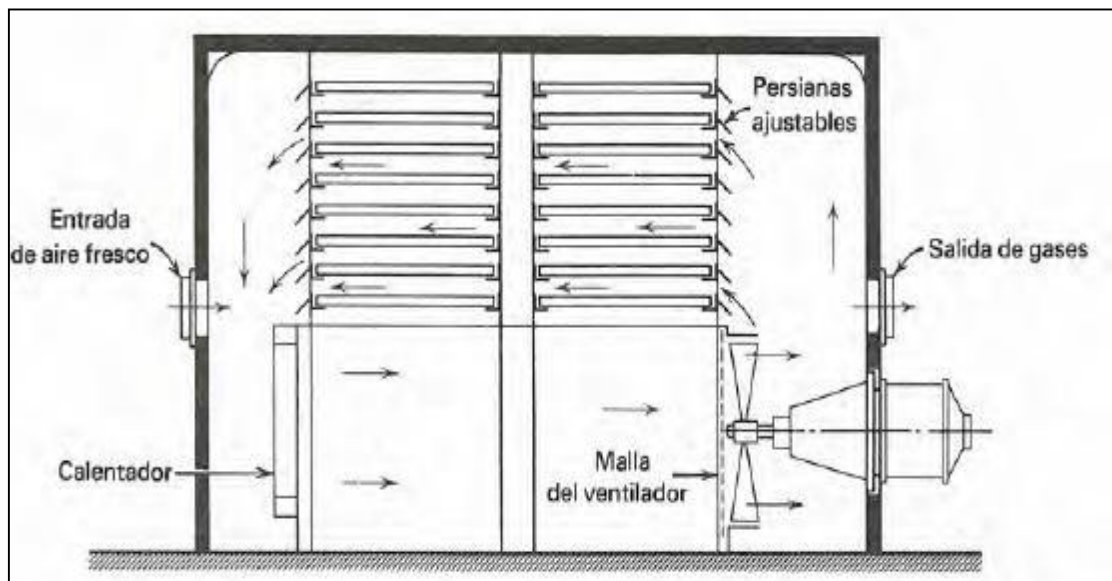
Las condiciones de secado se controlan y cambian con facilidad, si las condiciones externas al equipo permanecen constantes, las condiciones de secado para cualquier bandeja serán constantes. Sin embargo las bandejas cercanas a la entrada del aire tendrán diferentes condiciones que las demás. Este problema se lo ha solucionado parcialmente al invertir la trayectoria del flujo del aire.

El aire se hace circular por medio de ventiladores de hélice o centrífugos, también se usa calor eléctrico especialmente cuando el calentamiento es bajo. La recirculación del aire es usualmente del orden del 80 al 95 %, excepto durante la etapa inicial de desecación de evaporación rápida.

La transmisión de calor puede ser directa del gas a los sólidos, utilizando la circulación de grandes volúmenes de gas caliente, o indirecta, utilizando repisas o bases calentadas. Otro factor importante en el diseño de los secadores de bandejas es el costo de energía. Para la conservación de esta se puede recircular parte del aire.

El funcionamiento correcto de los secadores de bandejas depende del mantenimiento de una temperatura constante y una velocidad de aire uniforme sobre todo del material que se esté secando.

Conviene tener una circulación de aire con velocidad de 1 a 10 m/s para mejorar el coeficiente de transferencia de calor en la superficie. La corriente de aire adecuada para este género de secadores depende de que el ventilador tenga una capacidad suficiente, del diseño de la red de ductos para modificar cambios repentinos de dirección y de desviaciones correctamente ubicadas.



Fuente: <http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA6.pdf>

Figura 6-1: Secador de bandejas

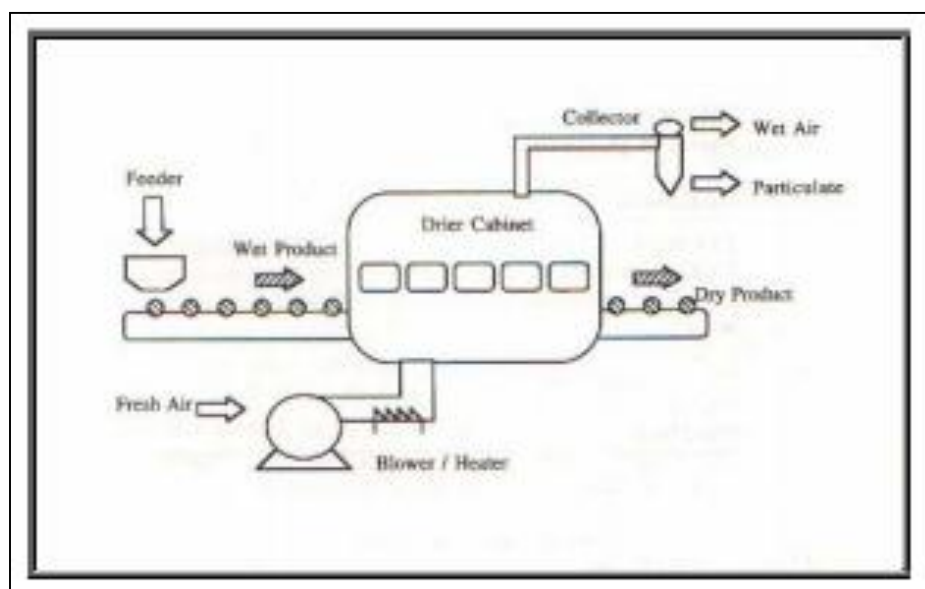
1.3.1 Configuración básica

La configuración básica de un secador de bandejas es una cámara especial donde el alimento es colocado, y este está equipado con sistema generador de aire caliente y una serie de conductos que permiten la circulación de aire caliente alrededor y a través del alimento. El agua es removida de la

superficie del producto y llevada hacia afuera en una sola operación. El aire es calentado mientras entra al secador por medio de intercambios de calor haciendo uso de resistencias eléctricas o combinación directa con gases de combustión de escape. Este tipo de secadores es usado ampliamente en el proceso de manufactura de galletas, frutas secas y rebanadas de vegetales etc.

Consiste de un sistema que genera aire caliente; el cual puede estar compuesto de un ventilador y de una serie de hilo de resistencias eléctricas de Nicromo (Níquel-Cromo) para generar calor, también debe de contar con un colector y un alimentador. Sin embargo para propósitos educacionales son comunes los secadores sin alimentador ya que las cantidades de alimento a deshidratar son menores.

El arreglo final de estos componentes es característico de cada tipo de secador. La figura 7-1 muestra el esquema básico de un secador.



Fuente: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/carrillo_a_j/capitulo1.pdf

Figura 7-1: Configuración básica de un secador.

1.3.1.1 Generador de aire

Los secadores de aire deben contar con un sistema que permitan la entrada de aire a diferentes velocidades de flujo, por eso se utilizan ventiladores o motores que se utilizan en los sistemas de refrigeración y también extractores de aire los cuales son polarizados de manera inversa para trabajar como generadores de aire.

1.3.1.2 Calefactor

En calefactores directos el aire es calentado cuando se combinan con gases de combustión de escape. En calefactores indirectos en aire o productos es calentado a través de placas de resistencia eléctricas. El costo de los calentadores directos es más bajo que los indirectos, pero algunos productos se llegan a dañar o contaminar a los gases.

1.3.1.3 Alimentador

Los alimentadores más comunes utilizados en los secadores para sólidos húmedos son los transportadores de tornillo, mesas rotantes y bandejas vibratorias. En algunos casos se tienen que utilizar alimentadores especiales en secadores de cama ancha para asegurar la expansión uniforme del alimento.

Otros componentes que son utilizados en los secadores para verificar el estado dentro del mismo son: termómetro de mercurio, medidores de presión y humedad y básculas que censan la pérdida de agua del alimento.

1.3.2 Transferencia de calor

El secado de sólidos Húmedos es un proceso térmico, aunque muchas veces la difusión en el sólido a través del gas se complica es posible secar muchos materiales solamente calentándolos por encima de la temperatura de ebullición del líquido. En la mayoría de procesos de secado adiabático la difusión ocurre en la fase gaseosa o sólida, pero frecuentemente las velocidades de secado suele depender más de los coeficientes de transferencia de calor que de los de transferencia de materia. El cálculo del consumo de calor se aplica a un secador con los siguientes objetivos:

- Calentar la alimentación hasta la temperatura de vaporización.
- Vaporizar el Líquido.
- Calentar los sólidos hasta su temperatura final.
- Calentar el vapor hasta su temperatura final.

1.3.3 Ventajas

- “Estabilidad de las condiciones: Podemos elegir tiempo de deshidratado y temperatura, que se mantiene estable.
- Si elegimos temperaturas alrededor de 40° y 50 °C, todas las enzimas y las vitaminas termolábiles de los alimentos se mantienen intactas. Y por supuesto, ningún otro nutriente sufre alteración: proteínas, hidratos de carbono, grasos, minerales, oligoelementos y vitaminas se mantienen igual. Sólo se pierde el agua.
- Podemos elegir diferentes grados de texturas: desde láminas crujientes, chips y crackers hasta texturas blandas. Programamos el deshidratador para que se detenga en el momento deseado.
- Bajo consumo eléctrico, puesto que usamos potencias muy bajas” (Martha Villen, 2012. <http://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/deshidratacion-la-forma-mas-antigua-y-sana-de-conservar-los-alimentos/>).

1.4 Diseño

Para el desarrollo del diseño de un secador de bandejas, los factores más importantes que se han de tener en cuenta son los siguientes:

- Condiciones térmicas.
- Capacidad del equipo.
- Componentes y características.
- Controles.
- Higiene.

Para la determinación de algunos de estos factores fue necesario realizar de manera práctica la experiencia de secado del plátano en el laboratorio con los cual pudimos hallar variables como la velocidad y el tiempo de secado y las diferentes humedades.

1.4.1 Condiciones térmicas

El secador de bandejas debe diseñarse para trabajar a temperaturas mayores a la del ambiente, conservando condiciones de hermeticidad y buena resistencia.

La temperatura de entrada del producto a la cámara de secado debe de estar en un rango de 15°C y 20°C y la temperatura del proceso debe ser de aproximadamente 50°C, no exceder dicha temperatura para mantener las propiedades del producto en nuestro caso el plátano.

1.4.2 *Capacidad del equipo.*

Nuestra propuesta de diseño tendrá una capacidad de 10 kg. Cabe mencionar que la capacidad del equipo no es el único criterio a tomarse en consideración desde el punto de vista de la producción.

Por consiguiente:

- La duración del secado debe reducirse al máximo para aumentar la productividad del equipo, para lo cual se requiere una instalación de regulación adecuada.
- La fiabilidad del equipo y sus componentes debe ser muy grande. Problemas con el ventilador o la regulación del calentamiento pueden provocar la pérdida de cargamentos completos de un valor muy importante.

1.4.3 *Componentes y características.*

Un equipo para secado discontinuo donde el proceso se lleva a cabo dentro de una cámara sin ningún movimiento del producto, consta básicamente de:

- A. Una cámara construida en acero inoxidable que cuenta con una puerta de cierre hermético. En su interior se encuentran distribuidas las bandejas que van a contener el producto a secar, éstas estarán sujetas a unos soportes que se encuentran ubicadas en las paredes laterales de la cámara.
- B. Resistencias eléctricas las cuales forman el sistema para el calentamiento de las bandejas facilitando la evaporación del agua que se encuentra en el producto.
- C. Un ventilador el cual proporciona aire caliente por medio de las resistencias eléctricas para llevar a cabo el proceso de secado.

1.4.4 Controles.

En los equipos de secado se usan aparatos que controlen la temperatura, este control será programable y registrado para su revisión.

1.4.5 Higiene.

La construcción y montaje de un equipo de secado está influenciado por el lugar donde será montado y las condiciones tecnológicas tales como ventilación, iluminación, protección contra vibraciones y ruidos etc.

Es de gran importancia para el diseño del equipo tener en cuenta las condiciones climatológicas, el grado de humedad y temperaturas ambientales para preservar la vida útil del equipo.

1.4.6 Especificaciones de Diseño.

1.4.6.1 Material

El *CODEX ALIMENTARIUS* establece que todo equipo y utensilios que va a ser utilizados en la procesamiento y manipulación de alimentos deben ser de un material que no transmita sustancias tóxicas, olores ni sabores, además debe ser resistente a la limpieza, desinfección y corrosión y sus superficies deben ser lisas, sin poros ni grietas.

En la Industria de alimentos el material más recomendado a utilizarse es el acero inoxidable que cumple todas las características expuestas, en este marco los aceros más usados son los AISI 304 y 316, entre estos dos se ha elegido para el diseño del equipo el ACERO AISI 304 pues es resistente a la corrosión y la oxidación como se describe a continuación.

1.4.6.1.1 Acero inoxidable AISI 304

Los aceros inoxidables son aleaciones de hierro con un mínimo de un 10,5% de cromo. Sus características se obtienen mediante la formación de una película adherente e invisible de óxido de cromo. La aleación 304 es un acero inoxidable austenítico de uso general con una estructura cúbica de caras centradas. Es esencialmente no magnético en estado recocido y sólo puede endurecerse en frío.

Éste es el más versátil y uno de los más usados de los aceros inoxidable de la serie 300. Tiene excelentes propiedades para el conformado y el soldado. Se puede usar para aplicaciones de embutición profunda, de rolado y de corte. Tiene buenas características para la soldadura, no requiere recocido tras la soldadura para que se desempeñe bien en una amplia gama de condiciones corrosivas. Tiene excelente resistencia a la corrosión en servicio intermitente hasta 870 °C y en servicio continuo hasta 925°C.

- *Propiedades eléctricas*

Resistividad Eléctrica (μ Ohm cm) 70-72

- *Propiedades Físicas*

Densidad (g cm^{-3}) 7,93

Punto de Fusión (°C) 1400-1455

- *Propiedades Mecánica*

Resistencia a la fluencia 310 MPa (45 KSI)

Resistencia máxima 620 MPa (90 KSI)

Elongación 30 % (en 50mm)

Reducción de área 40 %

Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)

- *Propiedades Térmicas*

Coefficiente de Expansión Térmica @20-100C ($\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) 18,0

Conductividad Térmica a 23C ($\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) 16,3

- *Propiedades químicas*

0.08 % C mín.

2.00 % Mn

1.00 % Si

18.0 – 20.0 % Cr

8.0 – 10.5 % Ni

0.045 % P

0.03 % S

Tabla 2-2: Calibre del acero AISI 304

Nota: el peso es calculado considerando una densidad del acero de 7,85 gr/cm ³				
Calibre No.	Espesor (pulgadas)	Espesor (mm)	Peso(lb/pie ²)	Peso (kg/m ²)
½ “	0,5000	12,70	20,4176	99,695
7/16 “	0,4375	11,11	17,8613	97,214
3/8 “	0,3750	9,53	15,3212	74,911
5/6 “	0,3126	7,94	12,7650	62,329
¼ “	0,2500	6,35	10,2088	40,848
3	0,2391	6,07	9,7586	47,650
4	0,2242	5,69	9,1477	44,667
5	0,2092	5,31	8,5368	41,684
6	0,1943	4,94	7,9419	38,779
3/16 “	0,1875	4,76	7,6520	37,366
7	0,1793	4,55	7,3149	35,718
8	0,1644	4,18	6,7201	32,813
9	0,1495	3,80	6,1092	29,830
10	0,1345	3,42	5,4983	26,847
1/8 “	0,125	3,18	5,1124	24,963
11	0,1196	3,04	4,8873	23,864
12	0,1046	2,66	4,2764	20,881
13	0,0897	2,28	3,6655	17,898
14	0,0747	1,90	3,0546	14,915
15	0,0673	1,71	2,7491	13,424

Fuente: <http://www.nacionaldeacero.com/tabla-de-calibres>

1.4.6.2 Tapa de la cámara

La tapa de la cámara será del mismo material que el de la cámara de secado. Para una mejor presentación y con la finalidad que se pueda visualizar el material a secar se ha considerado colocar en el centro vidrio templado.

1.4.6.3 Forma de la cámara

Para este factor se debe tener en cuenta:

- ✓ Función de la cámara.
- ✓ Resistencia requerida para soportar los cambios de temperatura.
- ✓ Forma en la cual el material pueda conseguirse en el mercado.
- ✓ Facilidades Instrumentales para la construcción del cuerpo de la cámara y la comodidad para el mantenimiento.

Para el diseño de la cámara se ha elegido la forma rectangular pues es la más adecuada para el secado de sólidos y la facilidad de manejo de las bandejas dentro del mismo.

1.4.6.4 Tamaño de la cámara

Depende de los siguientes factores:

- ✓ Capacidad de la Cámara
- ✓ Número de bandejas
- ✓ Longitud de las bandejas
- ✓ Espesor de las bandejas.
- ✓ Espacio entre bandejas
- ✓ Volumen de la cámara
- ✓ Longitud de la Cámara.

1.4.6.5 Espesor de las paredes de la cámara

Para soportar una presión externa de 678 mmHg que es a lo que usualmente se encuentra la parroquia Veracruz, el material del cual está hecho el equipo en este caso ACERO INOXIDABLE AISI 304 se recomienda un espesor de 0,118 pulgadas, es decir 3 mm, calibre 11 para fines de doblado y soldadura.

1.4.6.6 Espesor de la tapa de la cámara

Para soportar una presión externa de 678 mmHg como antes mencionado, para fines de doblado y soldadura se recomienda usar un espesor de 0,118 pulgadas, es decir 3 mm, calibre 11.

1.4.6.7 Cantidad de producto a secar

El equipo se diseña para una capacidad de 10 kg de plátano por lote. Se considera esta cantidad debido a que se estudiara la viabilidad que conlleve a emplear un proceso industrial.

1.4.6.8 Espesor del producto

Se ha establecido que el espesor del plátano que va a ser sometida a secado sea de 0,5 cm para que de esa manera la velocidad de secado sea más rápida, no se recomienda que el producto a secar sea de un espesor menor debido a que no se aprovechara bien la capacidad del equipo que se va a diseñar.

1.4.6.9 Distancia entre las bandejas

Se ha establecido una distancia entre bandejas de 10 cm lo cual permitirá que exista un mejor flujo del aire para retirar el agua del producto.

1.4.6.10 Altura de las bandejas

Será de 3 cm lo cual permitirá contener bien el producto a secar sin evitar que se desperdigue, además mejorará la manipulación de las bandejas, en cuanto a agarre, por parte de los operadores de la máquina.

1.4.6.11 Aislamiento de la Cámara

La cámara en su interior estará a temperatura de 50 °C al iniciar la operación de secado. Con el fin de mantenerla temperatura de trabajo ya establecida en la práctica es necesario aislar la cámara del ambiente interior por medio de un material aislante que proporcione una alta resistencia al flujo de calor del interior al exterior de la cámara. La eficacia del aislante depende de factores como su naturaleza, espesor, densidad y la forma en que el mismo sea aplicado. Algunos de los más usados como aislantes son: la fibra de vidrio, el poliestireno expandido o extruido, el poliuretano y la lana de vidrio. Las características básicas de los materiales aislantes que se deben conocer son: la conductividad térmica, resistencia a la humedad, la resistencia a la compresión.

El material que se escoja como aislante debe ofrecer una gran resistencia al flujo de calor, el material escogido como aislante térmico es la lana de vidrio debido a sus características y por su fácil acceso en el mercado.

1.4.6.11.1 Lana de vidrio

La lana de vidrio es un producto de origen natural, mineral, inorgánico, compuesto por un entrelazado de filamentos de vidrio aglutinados mediante una resina ignífuga. Así, gracias a sus características,

se obtiene aislamiento térmico y acústico y una total garantía de seguridad frente al fuego. Se suministra en forma de mantas y paneles, con diferentes recubrimientos o sin ellos, lo que permite el fácil manejo.

El material posee una muy buena relación resistencia térmica / precio, La lana mineral de vidrio presenta el mejor equilibrio ambiental (respecto a las emisiones de CO₂). (<http://www.ursa.es/es-es/productos/Documents/caracterizacion-lana-mineral-de-vidrio.pdf>)

Características

- ***Alto poder de aislación térmica:*** Presenta una elevada resistencia al paso de flujos caloríficos entre un ambiente acondicionado y su entorno, debido a su alta resistencia térmica.
- ***Gran absorción acústica:*** Otorga los beneficios de absorción y aislamiento acústica, ya que su estructura elástica amortigua las ondas sonoras incidentes, logrando un excelente nivel de acondicionamiento acústico de ambientes y reducción de ruidos desde el entorno.
- ***Ahorro de energía:*** Favorece la economía del lugar al impedir pérdidas de calor, lo cual redundará en menores gastos de energía. Se presta particularmente bien para la aislación de techumbres, pues cubre completamente la superficie sin dejar intersticios.
- ***No favorece a la corrosión:*** No favorece la corrosión en acero, cobre y aluminio, dando como resultado una mayor vida útil en equipos e instalaciones.
- ***Fácil de instalar y manejar:*** Por su densidad, flexibilidad y facilidad de manejo, es un material de rápida instalación que se adapta a las superficies irregulares de los sistemas constructivos, maximizando su operación.
- ***Ligero:*** Su ligereza le permite acoplarse a equipos o productos finales, sin el peligro de dañar los sistemas constructivos debido a un peso excesivo del material.

1.4.6.12 Dispositivo utilizado para el calentamiento

Se utilizarán resistencias eléctricas. El cálculo de las resistencias para el calentamiento depende de la cantidad de calor necesario para calentar el producto de 20 a 50C.

1.4.6.12.1 Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica.

1.4.6.13 Dispositivo utilizado para el flujo de aire (ventilación)

Es el más importante ya que es el medio a calentarse para remover la humedad del producto, la elección del ventilador se basa en la velocidad lo cual permitirá una adecuada circulación del aire dentro del equipo. Para lo cual se utilizara un ventilador con una potencia de 1700 rpm mediante pruebas realizadas en la práctica.

1.4.6.13.1 Ventilador

Un ventilador es un dispositivo para agitar o mover aire o gas. Básicamente crea una corriente de aire moviendo unas paletas o álabes. Es una máquina de fluidos (tiene como función intercambiar energía con un fluido que las atraviesa), la cual maneja varias clases de presiones en su funcionamiento.

El modelo más común actualmente es eléctrico y consiste en un rodete con aspas que giran produciendo una diferencia de presiones.

1.4.6.14 Sistema de Control del secador

El equipo constará de un controlador completo de temperatura tipo PID (sensor, controlador, actuador e indicador).

CAPITULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Localización del estudio

“*La Parroquia Veracruz* se encuentra ubicada al Este de la provincia de Pastaza a una distancia de 6.5 Km., de la ciudad de Puyo, capital de la provincia.

- **Límites**

AL NORTE: Con las parroquias Diez de Agosto y Puyo

AL SUR: Con las parroquias Pomona, Simón Bolívar.

AL ESTE: Con las parroquias Canelos y El Triunfo

AL OESTE: Parroquias Puyo y Tarqui.

- **Extensión.**

La extensión de la parroquia Veracruz es de 160Km².

- **Ubicación geográfica**

Latitud(S):840.531.86

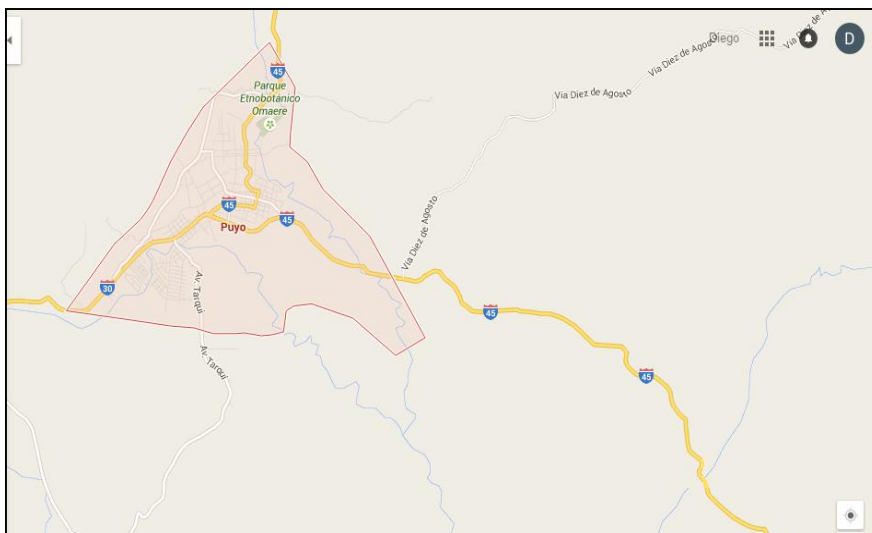
Longitud(O):9.833.289.15

- **Población**

Según el censo de población del 2001 realizado por el INEC, la población de la parroquia Veracruz es de 1.320 habitantes, de las cuales 682 son hombres y 638 son mujeres.

- **Caseríos.**

Sigüín, La Esperanza, Talín, Taculín, Doce de Febrero, Las Palmas, Cabeceras del Bobonaza, San Pablo, Veintidós de Abril, Unidad Nacional, Santa Mañanita; El Calvario, La Bocana del Talín”
(Oswaldo Raúl. 2010. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2793/1/T-ESPE-030399.pdf>).



Fuente:<https://www.google.com.ec/maps/place/Puyo/@-1.509415,-77.9987866,13z/data=!4m2!3m1!1s0x91d3e0a0cec83d13:0x106de38489136d76?hl=es>

Figura 1-2: Ubicación geográfica del cantón Pastaza



Fuente:https://www.google.com.ec/search?q=pastaza&biw=1366&bih=643&source=lnms&tbm=isch&sa=X&sqi=2&ved=0ahUKEwiw65_miM7JAhWJ4CYKHTIcCsQQ_AUIBigB#tbm=isch&q=veracruz+pastaza&imgc=Ee3grn3l5JtpPM%3A

Figura 2-2: Ubicación geográfica de la Parroquia Veracruz.

2.2 Muestreo

El muestreo se realizara aleatoriamente en los cultivos de plátano, los cuales nos servirá para realizar los análisis bromatológicos y la simulación del proceso de secado.

2.3 Análisis Bromatológico del plátano.

Tabla 1-2: Análisis bromatológico muestra fresca

DETERMINACIÓN	UNIDAD	METODO DE ANALISIS	RESULTADOS
Humedad	%	INEN 173	87
Proteína	%	INEN 1670	2,73
Grasa	%	INEN 523	0,12
Fibra	%	INEN 522	1,68
Azúcares totales	%	INEN 389	2,48

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos. SAQMIC

Tabla 2-2: Análisis bromatológico muestra seca

DETERMINACIÓN	UNIDAD	METODO DE ANALISIS	RESULTADOS
Humedad	%	INEN 173	1,33
Proteína	%	INEN 1670	2,61
Grasa	%	INEN 523	0,15
Fibra	%	INEN 522	1,65
Azúcares totales	%	INEN 389	3,24

Fuente: Servicios analíticos químicos y microbiológicos en agua y alimentos. SAQMIC

Ver Anexo A y B.

2.4 Simulación del proceso de secado para el plátano.

Para la simulación del proceso de secado del plátano fue necesario la utilización de un secador tipo armario a gas existente en el laboratorio de Procesos Industriales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. El objetivo de la práctica consiste en someter la materia prima en este caso el plátano verde a un secador a una determinada temperatura registrando continuamente la pérdida de humedad en un tiempo determinado hasta llegar a temperatura constante lo cual indica que la materia prima se ha secado por completo.

Con los datos obtenidos mediante la simulación de la operación unitaria de secado se procederá a construir las curvas: Humedad vs tiempo y humedad vs velocidad de secado, las cuales ayudaran a encontrar la humedad crítica y la humedad de equilibrio que presenta el plátano así como también el tiempo constante.

Se realizaron 4 ensayos a diferentes temperaturas (70, 60,50 y 40 °C) con un espesor uniforme del plátano de 3 mm. Se siguió el siguiente procedimiento:

- Se tomó el plátano de los cultivos de la Sra. Rosa Núñez productora de plátano ubicado en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza de forma aleatoria.
- Fue transportado hasta el laboratorio de procesos industriales de la facultad de ciencias de la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.
- A continuación se procedió a preparar el equipo en este caso el secador tipo armario del cual se tomó una bandeja y se marcó el área de secado para cubrirlo con papel aluminio para evitar la contaminación del producto.
- Una vez cubierta la bandeja con papel aluminio se procede a pesar, luego se peló el plátano y se cortó en rodajas sumamente finas de manera uniforme con un espesor aproximadamente de 3 mm y se colocó sobre el papel aluminio de manera que quede totalmente cubierto para nuevamente pesar.
- Cuando el secador esté a la temperatura deseada se colocó la bandeja con el plátano dentro del secador y se procedió a realizar mediciones de peso cada 5 minutos utilizando una balanza mecánica calibrada.
- Este proceso se repite hasta obtener un peso constante.
- Se realiza el mismo procedimiento para las diferentes temperaturas.
- Terminado este procedimiento se realiza los análisis bromatológicos del plátano.

Se detalla a continuación los datos experimentales obtenidos durante la deshidratación del plátano.

Tabla 3-2: Datos experimentales del proceso de secado del plátano

Tiempo (h)	Peso de la muestra (kg)			
	70 °C	60 °C	50 °C	40 °C
0,000	0,2135	0,2794	0,1365	0,1365
0,083	0,202	0,273	0,1333	0,1333
0,167	0,1815	0,2529	0,1296	0,129
0,250	0,17	0,2295	0,127	0,124
0,333	0,161	0,2094	0,124	0,12
0,417	0,152	0,195	0,121	0,1165
0,500	0,149	0,186	0,117	0,1125
0,583	0,142	0,1818	0,114	0,11
0,667	0,1345	0,1716	0,111	0,1065
0,750	0,129	0,1624	0,108	0,103
0,833	0,122	0,16	0,104	0,1
0,917	0,116	0,158	0,101	0,098
1,000	0,1095	0,1517	0,098	0,095
1,083	0,1045	0,1476	0,094	0,091

1,167	0,1015	0,1396	0,091	0,089
1,250	0,0995	0,1358	0,087	0,0855
1,333	0,097	0,1325	0,083	0,0825
1,417	0,095	0,1284	0,081	0,0805
1,500	0,0934	0,126	0,079	0,0795
1,583	0,0923	0,1245	0,0767	0,0765
1,667	0,0924	0,122	0,075	0,075
1,750	0,0919	0,1202	0,073	0,073
1,833	0,091	0,119	0,071	0,072
1,917	0,0915	0,1185	0,07	0,07
2,000	0,0905	0,1182	0,068	0,068
2,167	0,0855	0,118	0,0665	0,0665
2,333		0,1173	0,065	0,065
2,500		0,1172	0,0635	0,0635
2,667			0,0632	0,0634
2,833			0,063	0,0633

Realizado por: Lilian Ruiz

Tabla 4-2: Datos experimentales del proceso de secado del plátano

T	70 °C	60 °C	50 °C	40 °C
S	0,085	0,119	0,062	0,063
A	0,12	0,12	0,12	0,12

Realizado por: Lilian Ruiz

Dónde:

T: Temperatura (°C)

S: Peso del sólido seco (kg)

A: Área de secado (m²)

Se realiza los cálculos demostrativos para la temperatura de 50 °C.

2.4.1 Humedad en base seca

Utilizando la ecuación 1 se tiene:

$$X_{BS} = \frac{\text{Masa de agua}}{\text{masa del solido seco}}$$

$$X_{BS} = \frac{0,1365 - 0,062}{0,062}$$

$$X_{BS} = 1,202 \frac{kg \text{ agua}}{kg. \text{ solido seco}}$$

Tabla 5-2: Humedad en base seca.

θ	msh	X
0,000	0,1365	1,202
0,083	0,1333	1,150
0,167	0,1296	1,090
0,250	0,127	1,048
0,333	0,124	1,000
0,417	0,121	0,952
0,500	0,117	0,887
0,583	0,114	0,839
0,667	0,111	0,790
0,750	0,108	0,742
0,833	0,104	0,677
0,917	0,101	0,629
1,000	0,098	0,581
1,083	0,094	0,516
1,167	0,091	0,468
1,250	0,087	0,403
1,333	0,083	0,339
1,417	0,081	0,306
1,500	0,079	0,274
1,583	0,0767	0,237
1,667	0,075	0,210
1,750	0,073	0,177
1,833	0,071	0,145
1,917	0,07	0,129
2,000	0,068	0,097
2,167	0,0665	0,073
2,333	0,065	0,048
2,500	0,0635	0,024
2,667	0,0632	0,019
2,833	0,063	0,016

Realizado por: Lilian Ruiz

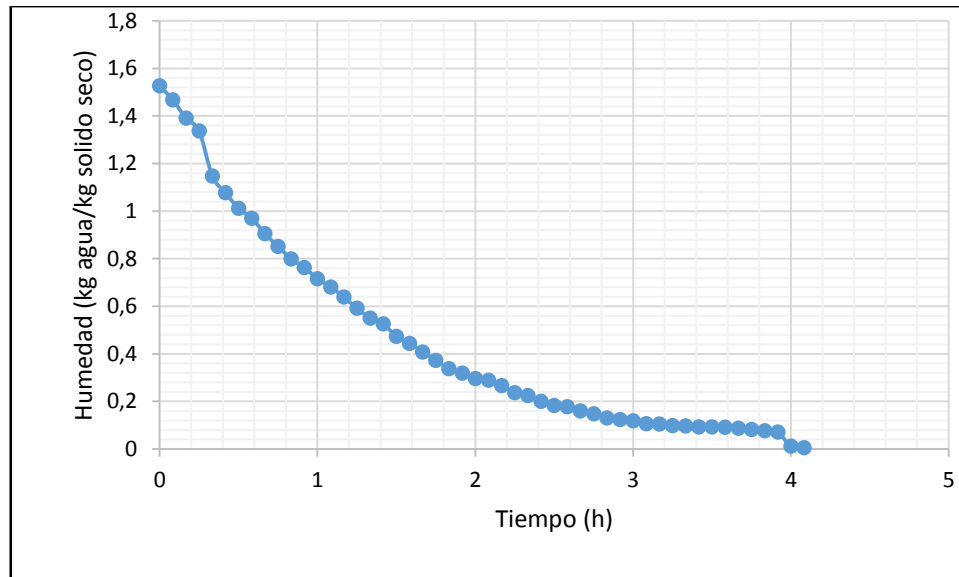
Dónde:

θ = Tiempo (h).

msh = peso del sólido húmedo (kg agua/kg sólido seco).

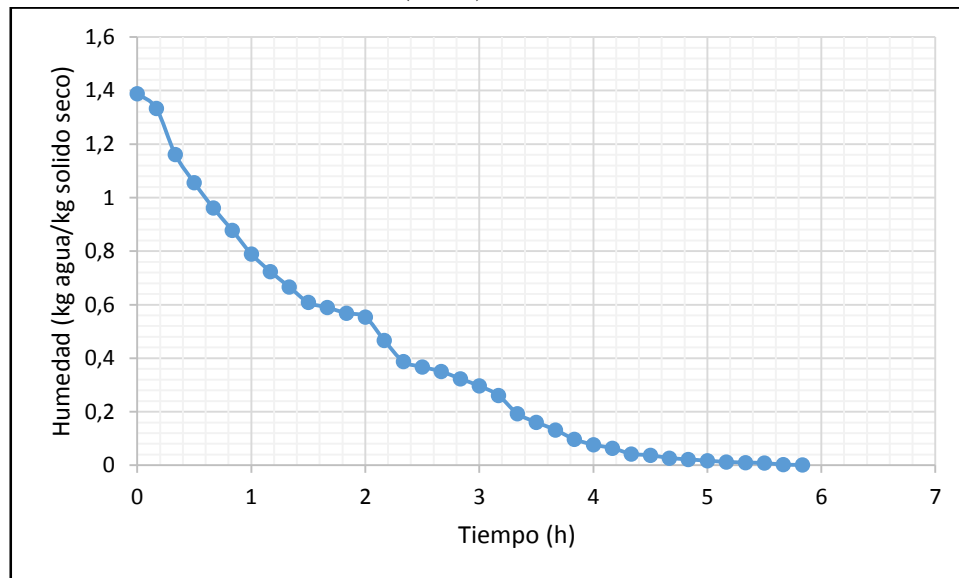
X = Humedad (kg agua/kg sólido seco).

Gráfica 1-2: Curva de humedad (70 °C)



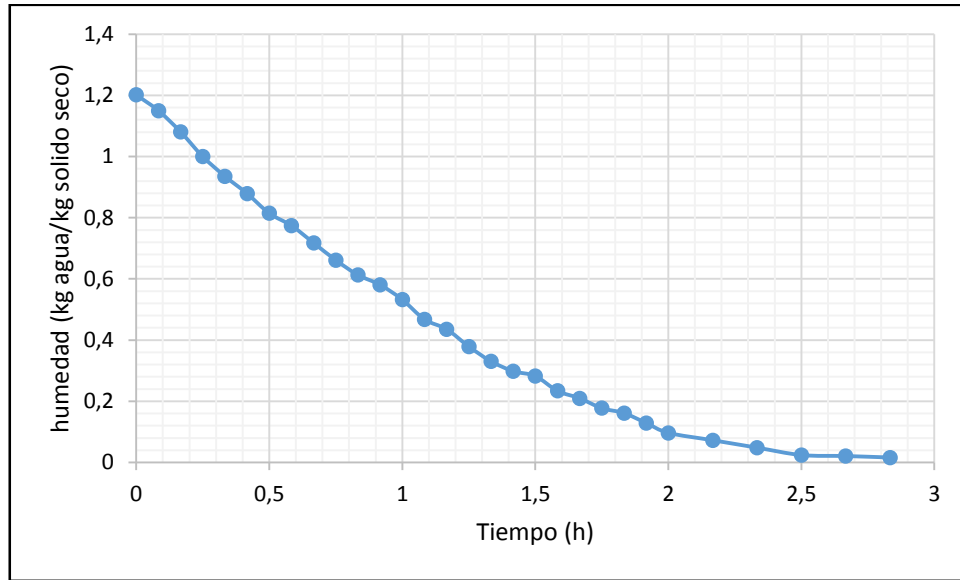
Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 2-2: Curva de humedad (60 °C)



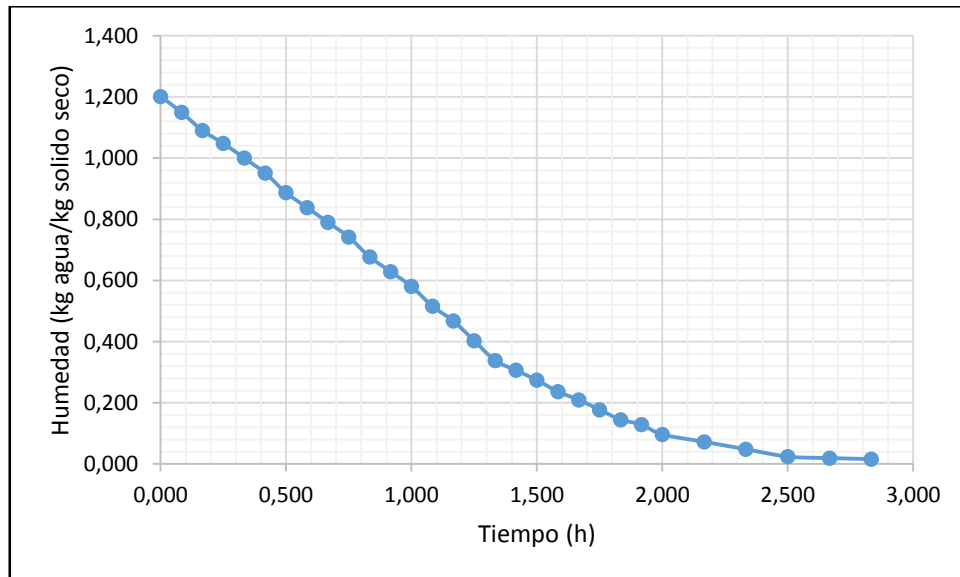
Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 3-2: Curva de humedad (50 °C)



Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 4-2: Curva de humedad (40 °C)



Realizado por: Lilian Ruiz

2.4.2 Humedad media

$$\bar{X} = \frac{x_n + x_{n+1}}{2}$$

$$\bar{X} = \frac{1,202 + 1,150}{2}$$

$$\bar{X} = 1,176 \text{ kg agua/kg sólido seco}$$

2.4.3 Variación del tiempo

$$\Delta\theta = \theta_n - \theta_{n-1}$$

$$\Delta\theta = 0,083 - 0$$

$$\Delta\theta = 0,083 \text{ h}$$

2.4.4 Variación de la humedad

$$\Delta X = x_n - x_{n-1}$$

$$\Delta X = 1,150 - 1,202$$

$$\Delta X = -0,052 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg sólido seco}}$$

2.4.5 Velocidad de secado

Mediante la ecuación 4 se tiene:

$$W = \frac{S}{A} \left(-\frac{dX}{d\theta} \right)$$

$$W = \frac{0,062}{0,12} \left(-\frac{-0,052}{0,083} \right)$$

$$W = 0,32 \text{ kg /m}^2\text{h}$$

Tabla 6-2: Velocidad de secado

\bar{X}	$\Delta\theta$	ΔX	W	$1/W$
1,176	0,083	-0,052	0,32	3,1
1,120	0,083	-0,060	0,37	2,7
1,069	0,083	-0,042	0,26	3,8
1,024	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,976	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,919	0,083	-0,065	0,4	2,5
0,863	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,815	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,766	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,710	0,083	-0,065	0,4	2,5
0,653	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,605	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,548	0,083	-0,065	0,4	2,5
0,492	0,083	-0,048	0,3	3,3
0,435	0,083	-0,065	0,4	2,5
0,371	0,083	-0,065	0,4	2,5
0,323	0,083	-0,032	0,2	5,0
0,290	0,083	-0,032	0,2	5,0
0,256	0,083	-0,037	0,23	4,3
0,223	0,083	-0,027	0,17	5,9
0,194	0,083	-0,032	0,2	5,0
0,161	0,083	-0,032	0,2	5,0
0,137	0,083	-0,016	0,1	10,0
0,113	0,083	-0,032	0,2	5,0
0,085	0,167	-0,024	0,075	13,3
0,060	0,167	-0,024	0,075	13,3
0,036	0,167	-0,024	0,075	13,3
0,022	0,167	-0,005	0,015	66,7
0,018	0,167	-0,003	0,01	100,0

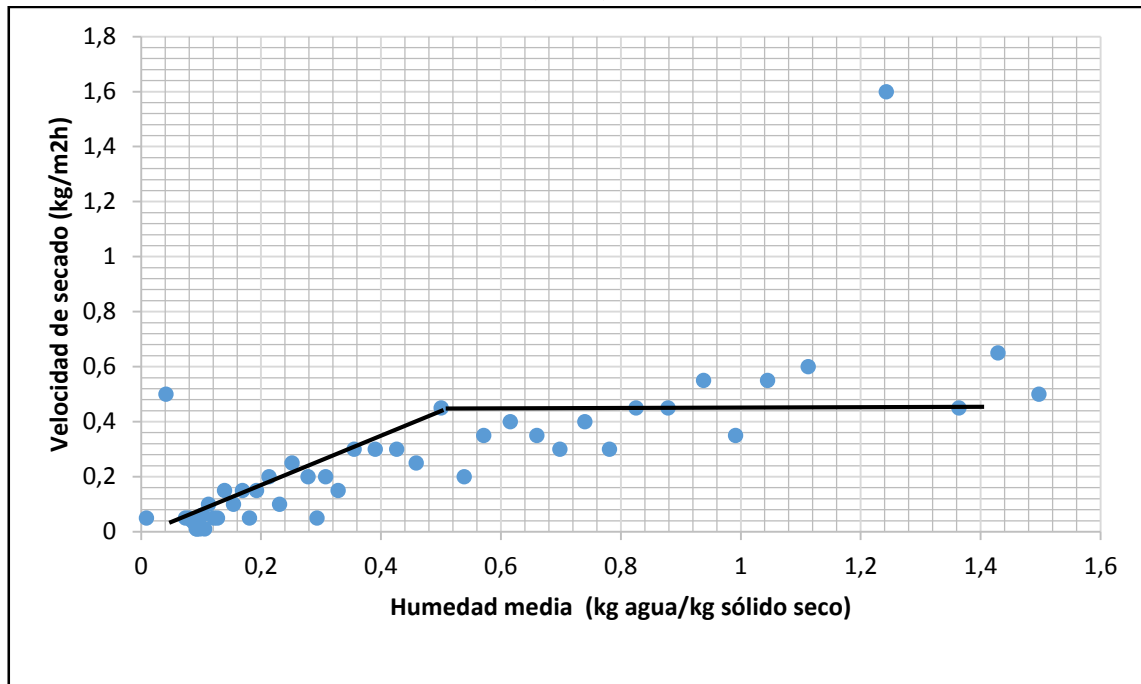
Realizado por: Lilian Ruiz

Dónde:

 \bar{X} = Humedad media (kg agua/kg sólido seco). $\Delta\theta$ = Variación del tiempo (h) ΔX = Variación de la humedad (kg agua/kg sólido seco). W = Velocidad de secado (kg/m²h)

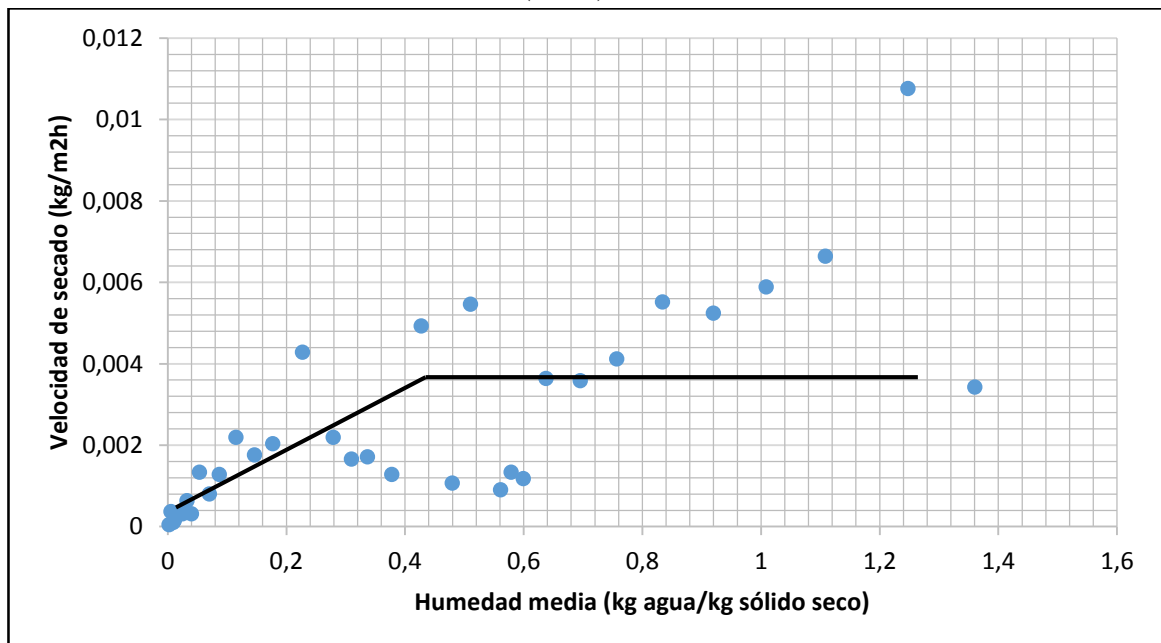
Una vez calculado la humedad y velocidad de secado y con los datos obtenidos se procede a graficar cada una de las temperaturas simuladas, para encontrar la curva de velocidad de secado como se muestra a continuación.

Grafica 5-2: Curva de velocidad de secado (70 °C)



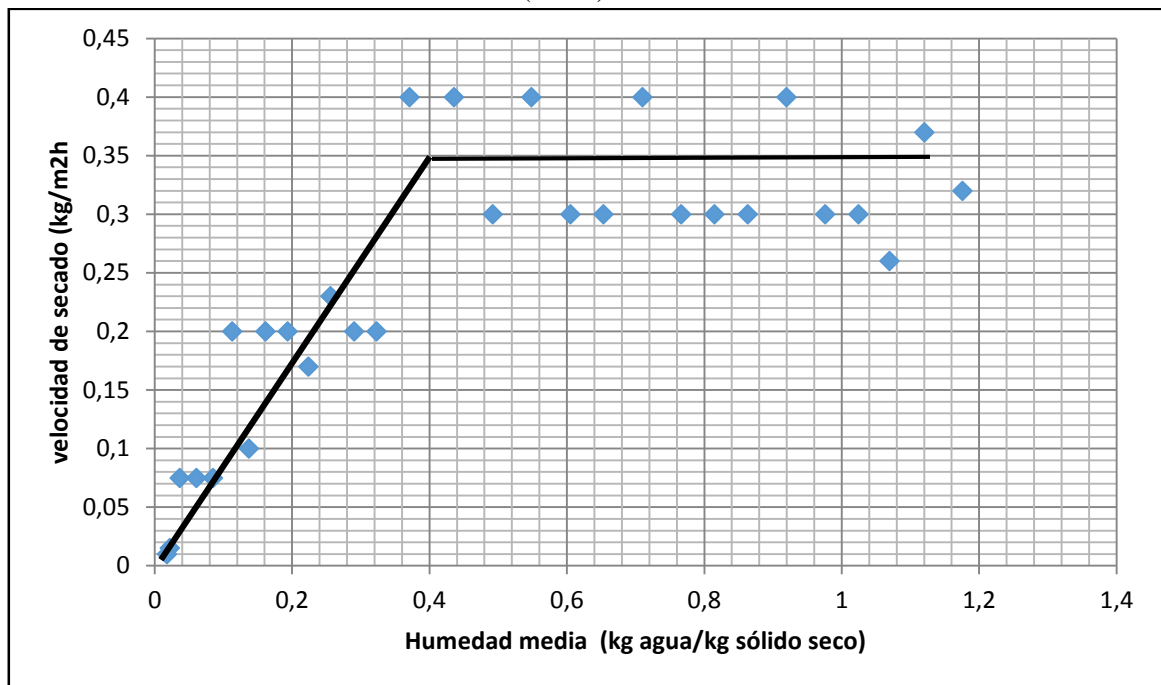
Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 6-2: Curva de velocidad de secado (60 °C)



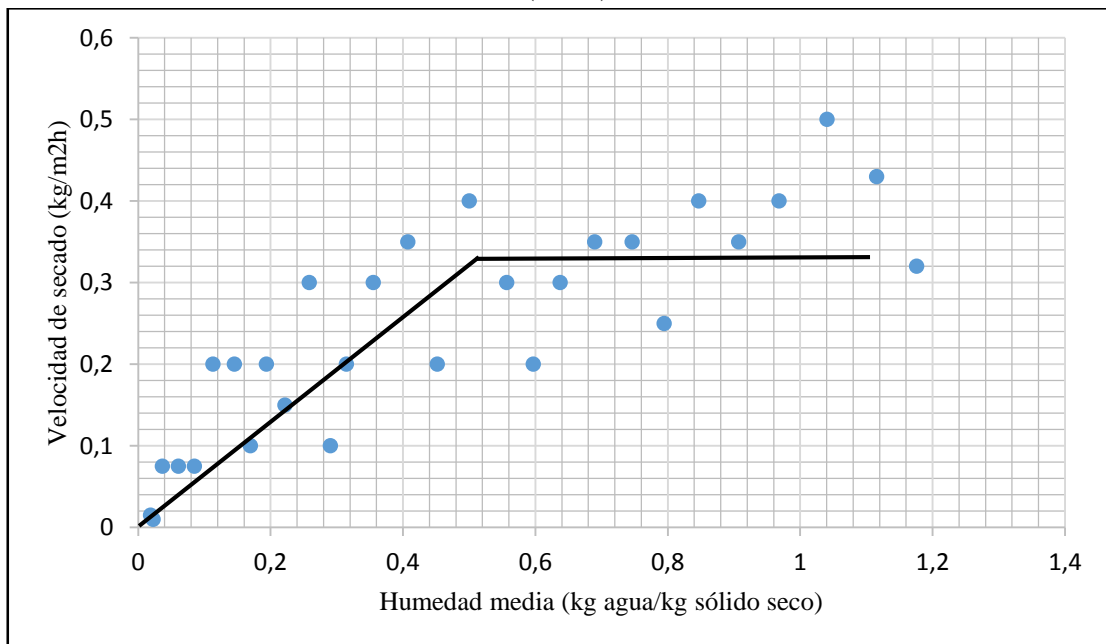
Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 7-2: Curva de velocidad de secado (50 °C)



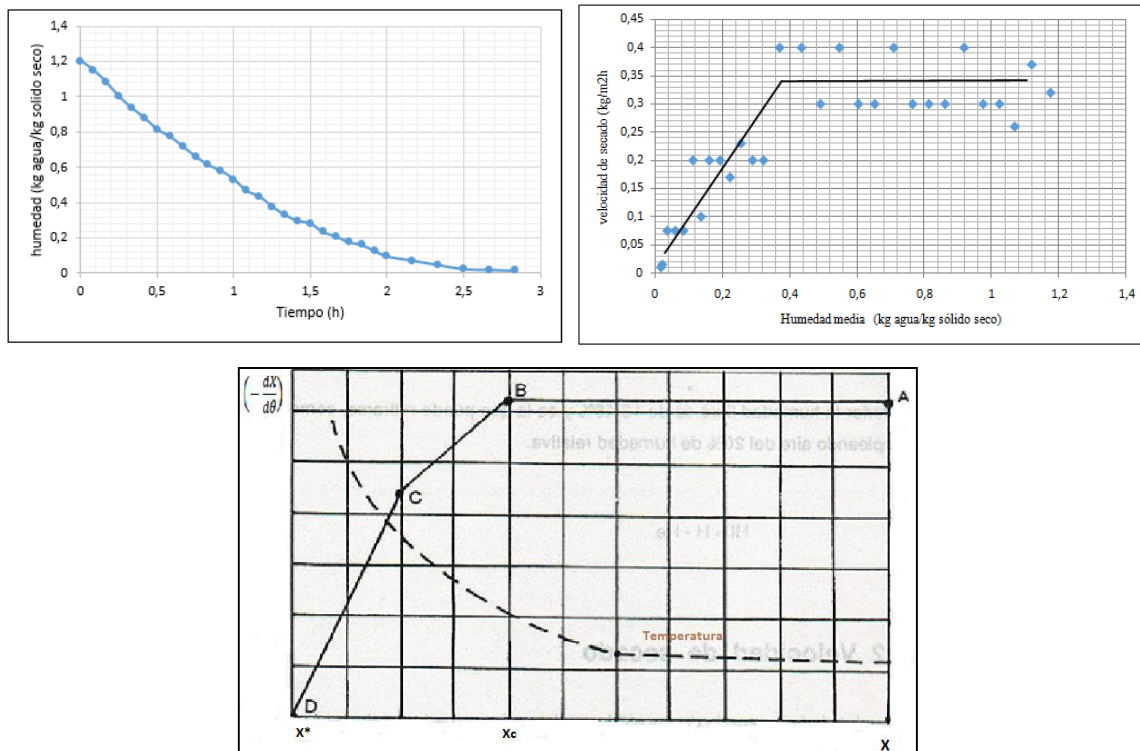
Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 8-2: Curva de velocidad de secado (40 °C)



Realizado por: Lilian Ruiz

Una vez graficadas las curvas, analizadas y comparadas con la literatura se observa que la curva que más se asemeja al fenómeno de secado son las gráfica 3-2 y 7-2 que corresponden a la temperatura de 50 °C.



Realizado por: Lilian Ruiz

Tabla 7-2: Datos obtenidos de la curva de velocidad de secado de la gráfica 7-2.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Humedad crítica	X_c	0,371	Kg agua/kg sólido seco
Humedad de equilibrio	X^*	0,04	Kg agua/kg sólido seco

Realizado por: Lilian Ruiz

Una vez encontrado los datos necesarios, se realizará los cálculos respectivos para determinar el tiempo total de secado correspondiente al plátano.

2.4.6 Velocidad antecrítica gráfica

Para la determinación de la velocidad antecrítica grafica nos guiaremos utilizando la gráfica 7-2 en donde se observa un periodo constante desde 1,17 hasta 0,39 trazada con una recta en las curva de secado.

Una vez identificada el área constante se procederá a determinar la velocidad antecrítica mediante la interpolar en el eje de las ordenadas con el valor de la humedad crítica que es igual a 0,371 kg agua/kg solido seco. Siendo así:

$$W_c = 0,341 \frac{kg}{m^2 h}$$

2.4.7 Velocidad antecrítica analítica

Utilizando los valores de las tablas 4-2, 6-2 y 7-2 y utilizando la aplicación de la ecuación 5 se tiene:

$$W_c = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{\Delta\theta} \right)$$

$$W_c = \frac{0,062 \text{ kg}}{0,12 \text{ m}^2} \left(-\frac{1,069 - 0,371}{1,083 \text{ h}} \right)$$

$$W_c = 0,332 \frac{kg}{m^2 h}$$

2.4.8 Velocidad poscrítica

Utilizando los valores de la tabla 6-2, 7-2 y aplicando la ecuación 6 se tiene:

$$W_D = W_c - \frac{X_c - X}{X_c - X_f} (W_c - W_f)$$

$$W_D = 0,341 - \frac{0,371 - 0,2}{0,371 - 0,043} (0,341 - 0,18)$$

$$W_D = 0,25 \frac{kg}{m^2 h}$$

2.4.9 Tiempo antecrítico

Mediante la ecuación 7 se tiene:

$$\theta_a = \frac{S}{A} \left(-\frac{X_i - X_c}{W_c} \right)$$

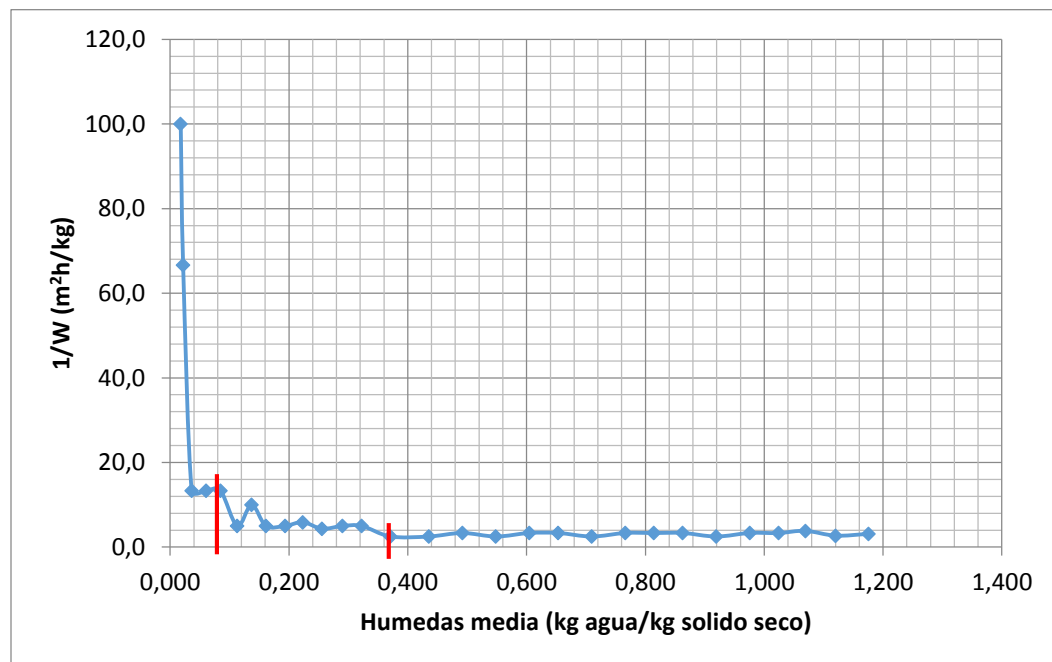
$$\theta_a = \frac{0,062 \text{ kg}}{0,12 \text{ m}^2} \left(-\frac{1,069 - 0,371}{0,341 \frac{kg}{m^2 h}} \right)$$

$$\theta_a = 1,06 \text{ h}$$

2.4.10 Tiempo poscrítico gráfico

Para determinar el tiempo poscrítico analítico se gráfica la integral dx/W representada en la ecuación 8 vs humedad media y se determina el área representada con los límites de la humedad crítica hasta la humedad final como se muestra a continuación.

Gráfica 9-2: Inverso de la Velocidad vs Humedad media



Realizado por: Lilian Ruiz

El área bajo la curva obtenida de la gráfica 9-2 es de 3,5.

$$\theta_p = \frac{S}{A} \int_{x_f}^{x_c} \frac{dx}{W}$$

$$\theta_p = \frac{0,062 \text{ kg}}{0,12 \text{ m}^2} * 3,5$$

$$\theta_p = 1,8 \text{ h}$$

2.4.11 Tiempo poscrítico analítico

Utilizando la ecuación 10 se tiene:

$$\theta_p = \frac{S}{A} \left(\frac{X_c - X^*}{W_c} \ln \frac{X_c - X^*}{X_f - X^*} \right)$$

$$\theta_p = \frac{0,062 \text{ kg}}{0,12 \text{ m}^2} \left(\frac{0,371 - 0,03}{0,341} \ln \frac{0,371 - 0,03}{0,043 - 0,03} \right)$$

$$\theta_p = 1,68 \text{ h}$$

2.4.12 Tiempo total de secado

Para calcular el tiempo total de secado se toma los datos obtenidos de manera analítica, estos representan una mejor apreciación de los tiempos reales en cada una de los periodos tanto antecrítico como poscrítico.

Y empleando la ecuación 11 se tiene:

$$\theta_T = \theta_a + \theta_p$$

$$\theta_T = 1,06 + 1,8$$

$$\theta_T = 2,86 \text{ h}$$

CAPITULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 Cálculos

3.1.1 Dimensionamiento

Se tomaran consideraciones necesarias para el dimensionamiento del secador mismas que fueron tomadas de numeral 1.4.6 del marco teórico del presente documento, donde se detallan las especificaciones de diseño.

Tabla 1-3: Consideraciones para el dimensionamiento

	Unidad	Valor
Capacidad de la Cámara	kg	10
Densidad del plátano	kg/L	0,98
Peso específico del plátano	N/m ³	9604
Volumen máximo de 10 kg de plátano	L	10,20
Número de niveles		5
Capacidad por bandeja	kg	2
Volumen del producto en cada bandeja	L	2,04
Espacio entre bandejas	cm	10
Altura de las Bandejas	cm	3
Espesor de los niveles	cm	0,5
Espesor mínimo del plátano	cm	0,5
Espesor máximo del plátano	cm	1

Realizado por: Lilian Ruiz

Las ecuaciones para el diseño del secador fueron tomadas de diversos autores las cuales se citan en la bibliografía correspondiente.

3.1.1.1 Carga del sólido sobre las bandejas

$$\frac{Ls}{A} = \delta p * t$$

Ecuación 12

$$\frac{Ls}{A} = 980 \text{ kg/m}^3 * 0,01 \text{ m}$$

$$\frac{Ls}{A} = 9,8 \text{ kg/m}^2$$

Dónde:

$\frac{Ls}{A}$ = Carga del sólido sobre las bandejas (kg/m²)

δp = Densidad del plátano (kg/L)

t = Espesor máximo del plátano (m)

3.1.1.2 Área total de las bandejas

$$Atb = \frac{L}{\frac{Ls}{A}}$$

Ecuación 13

$$Atb = \frac{10 \text{ kg}}{9,8 \text{ kg/m}^2}$$

$$Atb = 1 \text{ m}^2$$

Dónde:

Atb = Área total de las bandejas (m²)

L = Capacidad de la cámara (kg)

$\frac{Ls}{A}$ = Carga del sólido sobre las bandejas (kg/m²)

3.1.1.3 Área para una bandeja

$$Ab = \frac{Atb}{Nb}$$

Ecuación 13

$$Ab = \frac{1 \text{ m}^2}{5}$$

$$Ab = 0,20 \text{ m}^2$$

Dónde:

Ab = Área de la bandeja (m^2)

Atb = Área total de las bandejas (m^2)

Nb = Número de bandejas

Para una bandeja rectangular con un área de $0,2 \text{ m}^2$ se establece las siguientes dimensiones:

- Longitud: 0,5 m
- Ancho: 0,4 m

3.1.1.4 Espesor de las bandejas

Tabla 2-3: Características mecánicas del acero AISI 304

	Valor	Símbolo	Unidad
Resistencia a la tracción	50-70	t_t	Kg/mm^2

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html#seccion3>

$$t_D = \frac{P \times ab^2}{ta^2}$$

Ecuación 14

Dónde:

t_D = Esfuerzo de diseño (lb/pulg^2)

ta = Espesor del material del que están fabricadas las bandejas (Acero AISI 304)

ab = Ancho de las bandejas (pulg)

P = Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas (lb/pulg^2)

$$P = \frac{Cb \times g}{ab \times lb}$$

Ecuación 15

$$P = \frac{2 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2}{0,4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}}$$

$$P = 98 \frac{N}{\text{m}^2} = 0,014 \text{ lb/pulg}^2$$

Dónde:

P = Fuerza máxima a la cual estarán sometidas las bandejas (lb/pulg²)

Cb = Capacidad por bandeja (kg)

g = Gravedad (9,8 m/s²)

ab = Ancho de las bandejas (pulg)

lb = Longitud de las bandejas (m)

$$t_D = \frac{t_t}{fs}$$

Ecuación 16

Dónde:

t_D = Esfuerzo de diseño (lb/pulg²)

t_t = Resistencia a la tracción del acero AISI 304 (lb/pulg²)

fs = Factor de seguridad.

El valor de t_t se lo toma de la Tabla 2-3 en la cual se encuentra la resistencia a la tracción del acero que va a ser utilizado para la construcción de las bandejas que es el AISI 304 de cuyo rango se ha escogido el menor valor (50) y se ha transformado a $\frac{lb}{pulg^2}$ por motivos de facilitar el cálculo.

Por otro lado el factor de seguridad ha sido tomado de CUARAN Y TINILLO, Diseño y construcción de un prototipo deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo con circulación forzada de una capacidad de 0,85 m³ utilizando energía solar.

$$t_D = \frac{1705 \frac{lb}{pulg^2}}{1,5}$$

$$t_D = 1136,6 \frac{lb}{pulg^2}$$

Reemplazando en la ecuación 14 y despejando ta se tiene:

$$ta^2 = \frac{0,014 \text{ psi} \times (15,75 \text{ pulg})^2}{1136,6 \text{ psi}}$$

$$ta^2 = 0,0038 \text{ pulg}^2$$

$$ta = 0,06 \text{ pulg} = 1,5 \text{ mm}$$

Para una carga de 2 kg en bandejas de 0,4 m por 0,5 m, un espesor de 1,5 mm será suficiente, sin embargo por razones técnicas de soldadura y doblado se recomienda fijar el espesor de las placas de las bandejas 2 mm para evitar problemas al momento de construir las bandejas con láminas de acero.

3.1.1.5 Volumen de las bandejas

$$Vb = V1 + V2 + V3$$

Ecuación 16

Dónde:

Vb = Volumen de las bandejas (m^3)

$V1$ = Volumen de la base de la bandeja (m^3)

$V2$ = Volumen del pretil ancho de la bandeja (m^3)

$V3$ = Volumen del pretil largo de la bandeja (m^3)

$$V1 = ab \times lb \times eb$$

Ecuación 17

$$V1 = 0,4 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 0,002 \text{ m}$$

$$V1 = 0,0004 \text{ m}^3$$

Dónde:

$V1$ = Volumen de la base de la bandeja (m^3)

ab = Ancho de la bandeja (m)

lb = Longitud de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

$$V2 = ab \times hb \times eb$$

Ecuación 18

$$V2 = 0,4 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} \times 0,002 \text{ m}$$

$$V2 = 0,000024 \text{ m}^3$$

Dónde:

$V2$ = Volumen del pretil ancho de la bandeja (m^3)

ab = Ancho de la bandeja (m)

hb = Altura de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

$$V3 = lob \times hb \times eb$$

Ecuación 19

$$V3 = 0,5 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} \times 0,002 \text{ m}$$

$$V3 = 0,00003 \text{ m}^3$$

Dónde:

$V2$ = Volumen del pretil largo de la bandeja (m^3)

lob = Longitud de la bandeja (m)

hb = Altura de la bandeja (m)

eb = Espesor de la bandeja (m)

Reemplazando en la ecuación 16 se tiene que:

$$Vb = 0,0004 \text{ m}^3 + 0,000024 \text{ m}^3 + 0,00003 \text{ m}^3$$

$$Vb = 0,00045 \text{ m}^3$$

3.1.1.6 Masa de las bandejas

$$\delta = \frac{Mb}{Vb}$$

Ecuación 20

$$Mb = \delta \times Vb$$

$$Mb = 7800 \frac{kg}{m^3} \times 0,00045 m^3$$

$$Mb = 3,5 kg$$

Dónde:

δ = Densidad del acero AISI 304 (kg/m³)

Mb = Masa de la bandeja (kg)

Vb = Volumen de la bandeja (m³)

3.1.1.7 Longitud de la cámara interna

$$lci = lb + 0,10 lb$$

Ecuación 21

$$lci = 50 cm + 0,10 (50 cm)$$

$$lci = 55 cm = 0,55 m$$

Dónde:

lci = Longitud de la cámara (m)

lb = Longitud de las bandejas (m)

3.1.1.8 Ancho de la cámara interna

$$aci = ab + 0,10 ab$$

Ecuación 22

$$aci = 40 cm + 0,10 (40 cm)$$

$$aci = 44 cm = 0,44 m$$

Dónde:

aci = Ancho de la cámara (m)

ab = Ancho de las bandejas (m)

3.1.1.9 Altura de la cámara interna

$$hci = nb \times hb + 6 \times esp$$

Ecuación 23

$$hci = 5 \times 0,03 \text{ m} + 6 \times 0,1 \text{ m}$$

$$hci = 0,75 \text{ m} = 75 \text{ cm}$$

Dónde

hci = Altura de la cámara interna (m)

nb = Numero de bandejas

hb = Altura de las bandejas (m)

esp = Espacio entre bandejas (m)

3.1.1.10 Área de la cámara interna

$$Aci = 2(aci \times hci + lci \times hci + aci \times lci)$$

Ecuación 24

$$Aci = 2(0,44 \times 0,75 + 0,55 \times 0,75 + 0,44 \times 0,55) \text{ m}$$

$$Aci = 1,9 \text{ m}^2$$

Dónde:

Aci = Área de la cámara interna (m^2)

aci = Ancho de la cámara interna (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

3.1.1.11 Volumen de la cámara interna

$$Vci = aci \times hci \times lci$$

Ecuación 25

$$Vci = 0,44 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \times 0,55 \text{ m}$$

$$V_{ci} = 0,182 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{ci} = Volumen de la cámara interna (m^3)

aci = Ancho de la cámara interna (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

3.1.1.12 Longitud de la cámara externa

$$lce = lci + espt + 2(espm) + espv$$

Ecuación 26

$$lce = 0,55 \text{ m} + 0,003 \text{ m} + 2(0,003 \text{ m}) + 0,04 \text{ m}$$

$$lce = 0,6 \text{ m} = 60 \text{ cm}$$

Dónde:

lce = Longitud de la cámara externa (m)

lci = Longitud de la cámara interna (m)

$espt$ = Espesor de la tapa (m)

$espm$ = Espesor del acero inoxidable (m)

$espv$ = Espacio del ventilador (m)

3.1.1.13 Ancho de la cámara externa

$$ace = aci + 4(espm) + 2(espa)$$

Ecuación 27

$$ace = 0,44 \text{ m} + 4(0,003 \text{ m}) + 2(0,04 \text{ m})$$

$$ace = 0,53 \text{ m} = 53 \text{ cm}$$

Dónde:

ace = Ancho de la cámara externa (m)

aci = Ancho de la cámara interna (m)

$espm$ = Espesor de acero inoxidable (m)

$espa$ = Espesor de la lana de vidrio (m)

3.1.1.14 Altura de la cámara externa

$$hce = hci + espr + espa + 4 (espm)$$

Ecuación 28

$$hce = 0,75 \text{ m} + 0,12 \text{ m} + 0,04 \text{ m} + 3 (0,003 \text{ m})$$

$$hce = 0,92 \text{ m} = 92 \text{ cm}$$

Dónde:

hce = Altura de la cámara externa (m)

hci = Altura de la cámara interna (m)

$espr$ = Espacio para las resistencias (m)

$espa$ = Espesor de la lana de vidrio (m)

$espm$ = Espesor de la lámina de acero inoxidable (m)

3.1.1.15 Área de la cámara externa

$$Ace = 2(ace * hce + lce * hce + ace * lce)$$

Ecuación 29

$$Ace = 2(0,53 * 0,92 + 0,6 * 0,92 + 0,53 * 0,6) \text{ m}$$

$$Ace = 2,7 \text{ m}^2$$

Dónde:

Ace = Área de la cámara (m^2)

ace = Ancho de la cámara externa (m)

hce = Altura de la cámara externa (m)

lce = Longitud de la cámara externa (m)

3.1.1.16 Volumen de la cámara externa

$$V_{ce} = a_{ce} \times h_{ce} \times l_{ce}$$

Ecuación 30

$$V_{ce} = 0,64 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0,68 \text{ m}$$

$$V_{ce} = 0,44 \text{ m}^3$$

Dónde:

V_{ce} = Volumen de la cámara externa (m^3)

a_{ce} = Ancho de la cámara externa (m)

h_{ce} = Altura de la cámara externa (m)

l_{ce} = Longitud de la cámara externa (m)

3.1.2 Cálculos de Ingeniería

3.1.2.1 Datos adicionales

Tabla 3-3: Propiedades físicas del plátano.

	Valor	Símbolo	Unidad
Densidad	980	δ	Kg/m^3
Capacidad calorífica	3,59	C_p	$\text{KJ/kg } ^\circ\text{C}$

Fuente: CENGEL, Yunus A. & John M. CIMBALA. 2006. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill. Tabla A-9

Tabla 4-3: Propiedades físicas del agua

Temperatura ($^\circ\text{C}$)	Conductividad térmica (Kcal/kg)
50	568,9

Fuente: CENGEL, Yunus A. & John M. CIMBALA. 2006. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill. Tabla A-9

Tabla 5-3: Magnitudes aproximadas de algunos coeficientes de transferencia de calor

K acero (W/m K)	K lana de vidrio (W/m K)	h vapor de agua ($\text{W/m}^2\text{k}$)
16,3	0,038	2850

Fuente: GEANKOPOLIS, J., Procesos de transporte y Operaciones Unitarias, Pp.246, 247.

3.1.2.2 Calor necesario para calentar el sólido en el secador

$$Q = m C_{p_s} \Delta T$$

Ecuación 31

$$Q = (10 \text{ kg}) \left(0,857 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right) (50 - 19)^\circ\text{C}$$

$$Q = 265,67 \text{ kcal}$$

Dónde:

Q = Calor necesario para calentar el sólido (*kcal*)

m = Peso del material (kg)

C_{p_s} = Capacidad calorífica del sólido (Kcal/kg °C)

ΔT = Variación de temperatura del sólido (°C)

3.1.2.3 Cantidad de energía eléctrica

Tomando el calor necesario para calentar el sólido tenemos:

$$E = 265,67 \text{ kcal} \times \frac{1,16 \frac{\text{W}}{\text{h}}}{1 \text{ Kcal}} = 308 \frac{\text{W}}{\text{h}}$$

Donde:

E : Cantidad de energía eléctrica (KW/h)

3.1.2.4 Potencia de la resistencia

$$P = 308 \frac{\text{W}}{\text{h}} \times 2,86 \text{ h}$$

$$P = 880,8 \text{ W}$$

Dónde

P : potencia de la resistencia (W)

Para una potencia de 880,8 W se necesitan 4 resistencias de 1 ohmios conectados a un voltaje de 220

3.1.2.5 Resistencia convección al desprenderse vapor de agua del material a secar

$$R_1 = \frac{1}{h_i A}$$

Ecuación 34

$$R_1 = \frac{1}{2850 \frac{W}{m^2 K} * 0,20 m^2}$$

$$R_1 = 1,75 * 10^{-3} \text{ } ^\circ K/W$$

Dónde.

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección ($^\circ K/W$)

h_1 = Coeficiente convectivo de transferencia de calor ($W/m^2 \text{ } ^\circ K$)

A = Área de la bandeja (m^2)

3.1.2.6 Resistencia a la conducción del acero

$$R_2 = \frac{L}{kA}$$

Ecuación 35

$$R_2 = \frac{0,003 m}{16,3 \frac{W}{m K} * 2,7 m^2}$$

$$R_2 = 6,82 * 10^{-5} \frac{^\circ K}{W}$$

Dónde:

R_2 = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (K/W)

k = Coeficiente de conductividad térmica ($\frac{W}{m^2 K}$)

A = Área de la cámara externa (m^2)

L = Espesor del acero (m)

3.1.2.7 Resistencia a la conducción aislante térmico lana de vidrio

$$R_{3v} = \frac{L}{kA}$$

Ecuación 36

$$R_{3v} = \frac{0,04 \text{ m}}{0,038 \frac{W}{m \cdot K} * 2,7 \text{ m}^2}$$

$$R_{3v} = 0,38 \frac{^{\circ}K}{W}$$

Donde:

R_{ev} = Resistencia a la conducción del aislante térmico (K/W)

k = Coeficiente de conductividad térmica del aislante térmico ($\frac{W}{m \cdot K}$)

A = Área de la cámara externa (m^2)

L = Espesor de la lana de vidrio (m)

3.1.2.8 Velocidad de transferencia de calor (1-2)

$$q_{1-2} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$

Ecuación 37

$$R_{1-2} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2}$$

$$q_{1-2} = \frac{(373 - 292)K}{(1,75 * 10^{-3} + 6,82 * 10^{-5}) \frac{K}{W}}$$

$$q_{1-2} = 44549,55 \text{ W}$$

Donde:

q_{1-2} = Velocidad de transferencia de calor (W)

ΔT = Variación de la temperatura (K)

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección (K/W)

R_2 = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (K/W)

3.1.2.9 Velocidad de transferencia de calor (1-3v)

$$q_{1-3v} = \frac{\Delta T}{R_1 + R_2 + R_{3v}}$$

Ecuación 38

$$q_{1-3v} = \frac{(373 - 292)K}{(1,75 * 10^{-3} + 6,82 * 10^{-5} + 0,38) \frac{K}{W}}$$

$$q_{1-3v} = 212,14 W$$

Dónde:

q_{1-ev} = Velocidad de transferencia de calor (W)

ΔT = Variación de la temperatura (K)

R_1 = Resistencia a la transferencia de calor por convección (K/W)

R_2 = Resistencia a la transferencia de calor por conducción (K/W)

R_{ev} = Resistencia a la conducción del aislante térmico (K/W)

3.1.2.10 Calor útil

$$Q_{util} = q_{1-2} - q_{1-3v}$$

Ecuación 39

$$Q_{util} = (44549,55 - 212,14)W$$

$$Q_{util} = 44337,41 W$$

Dónde:

Q_{util} = Calor útil (W)

q_{1-ev} = Velocidad de transferencia de calor (W)

q_{1-2} = Velocidad de transferencia de calor (W)

3.2 Resultados

3.2.1 Resultado del dimensionamiento del secador de bandejas

Tabla 6-3: Resultados del Dimensionamiento de las bandejas

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud	lb	0,5	m
Ancho	lb	0,4	m
Espesor	ta	0,002	m
Área	Ab	0,20	m ²
Volumen	Vb	0,00045	m ³

Realizado por: Lilian Ruiz

Tabla 7-3: Resultados del dimensionamiento de la cámara interna del secador

Cámara interna	Unidad	Valor	Unidad
Longitud	lci	0,55	m
Ancho	aci	0,44	m
Altura	hci	0,75	m
Área	Aci	1,9	m ²
Volumen	Vci	0,182	m ³

Realizado por: Lilian Ruiz

Tabla 8-3: Resultados del dimensionamiento de la cámara externa del secador

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Longitud	lce	0,6	m
Ancho	ace	0,53	m
Altura	hce	0,92	m
Área	Ace	2,7	m ²
Volumen	Vce	0,44	m ³

Realizado por: Lilian Ruiz

3.2.2 Resultados de los cálculos de ingeniería.

Tabla 9-3: Resultado de los cálculos de ingeniería.

Cálculo	Símbolo	Valor	Unidad
Calor necesario para calentar el sólido en el secador	Q	265,67	Kcal
Cantidad de energía eléctrica necesaria	E	308	w/h
Potencia de la resistencia	P	880,8	W
Resistencia a la transferencia de calor por convección.	R1	1,75x10 ⁻³	°K/W

Resistencia a la transferencia de calor por conducción.	R2	6,82x10 ⁻⁵	°K/W
Resistencia a la conducción aislante térmico lana de vidrio	Rev	0,38	°K/W
Velocidad de transferencia de calor.	q1-2	44549,55	W
Velocidad de transferencia de calor	q1-3v	212,14	W
Calor útil	Q útil	44337,41	W

Realizado por: Lilian Ruiz

3.2.3 Requerimiento presupuestario

3.2.3.1 Recursos materiales

Tabla 10-3: Recursos materiales

Material	Cantidad	Precio unitario (\$)	Total (\$)
Plancha de acero inoxidable AISI 304	5	230	1150
Plancha lana de vidrio	1	40	40
Vidrio templado	1	30	30
Ventilador	1	70	70
Resistencia eléctrica	4	20	80
Soportes de acero inoxidable	5	8	40
Plancha malla metálica MESH 40	1	35	35
Sistema de control automático de temperatura.	1	800	800
TOTAL (\$)			2245

Fuente: Ing. Marco Luna

Realizado por: Lilian Ruiz

3.3 Rentabilidad del proyecto.

Un racimo de plátano en el mercado se vende a \$ 4 y para obtener los 10 kg de verde se necesita un racimo.

Tabla 11-3: Costo de materia prima

Producto	1 racimo	10 kg (1racimo)
Costo \$	4	4

Fuente: Sra. Rosa Núñez

Realizado por: Lilian Ruiz

La capacidad del equipo será de 10 kg de materia prima teniendo obteniendo al final del proceso 5 kg de plátano deshidratado es decir 11 lb . El cual será vendido a un precio de \$ 0,70 la libra de plátano deshidratado en forma de harina.

Tabla 12-3: Cantidad de Producto procesado

	Costo (\$)
De 10 kg de plátano fresco	4
<i>Se obtiene</i> ↓	
5 kg de plátano deshidratado	7,70

Fuente: Sra. Rosa Núñez

Realizado por: Lilian Ruiz

Se realizarán dos etapas de secado en el día teniendo un total de 10 kg de plátano deshidratado. Por tanto se tendrá 22 libras de harina de plátano al día, y se trabajará 6 días a la semana.

Tabla 13-3: Proyección en venta para un año.

	Día	Mes	Semestre	Año
Producción (lb)	22	528	3.168	6336
Venta (\$)		468	2808	5616

Realizado por: Lilian Ruiz

Consumo de energía eléctrica al día

La tarifa comercial de consumo de energía eléctrica es de 0,09 dólares el KW/h (Patricia Rodríguez, Sucursal mayor Puyo, EEASA).

$$1,66 \frac{kw}{h} \times 0,09 \text{ dolares } \frac{h}{kw} = 0,14 \text{ dolares}$$

Al día durante los dos periodos de secado se pagará 0,14 dólares y por lo tanto durante el mes se pagará 3,36 dólares por lo tanto al año será de \$40

3.3.1 Costo-beneficios.

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad.

$B/C > 1 \rightarrow$ el proyecto es rentable

El beneficio será la cantidad de libras de harina de plátano que se venderán al año y los costos serán la instalación del equipo, la mano de obra, el consumo de energía eléctrica y el costo de insumos para la producción de plátano que se utilizarán como se detalla a continuación

Tabla 14-3: Costo de producción

Recursos	Costo (\$)
Costo de recursos de materiales	2245
Costo en energía eléctrica	40
Costo de instalación del equipo	860
Insumos para la producción de plátano	700
TOTAL	3845

Realizado por: Lilian Ruiz

$$\frac{\text{beneficio}}{\text{costo}}$$

$$\frac{5616}{3845} = 1,50$$

Como la relación costo-beneficio es mayor que 1, podemos afirmar que nuestro propuesto de diseño es rentable en el año, es decir que por cada dólar que invertimos en la empresa, obtenemos 0,50 dólares.

3.3.2 Punto de equilibrio

El diseño del secador de bandeja tendrá como finalidad la deshidratación del mismo para la elaboración de harina para lo se ha fijado el precio de la libra de harina de plátano a \$0,70. El costo variable por cada libra de harina es de \$0,10 y los costos fijos de la empresa ascienden a \$ 3845 como se menciona anteriormente.

Tabla 15-3: Datos para determinar el punto de equilibrio.

Costos fijos	3845
Precio	0,7
Costos variables	0,1
Punto equilibrio	6408
Utilidades	0

Realizado por: Lilian Ruiz

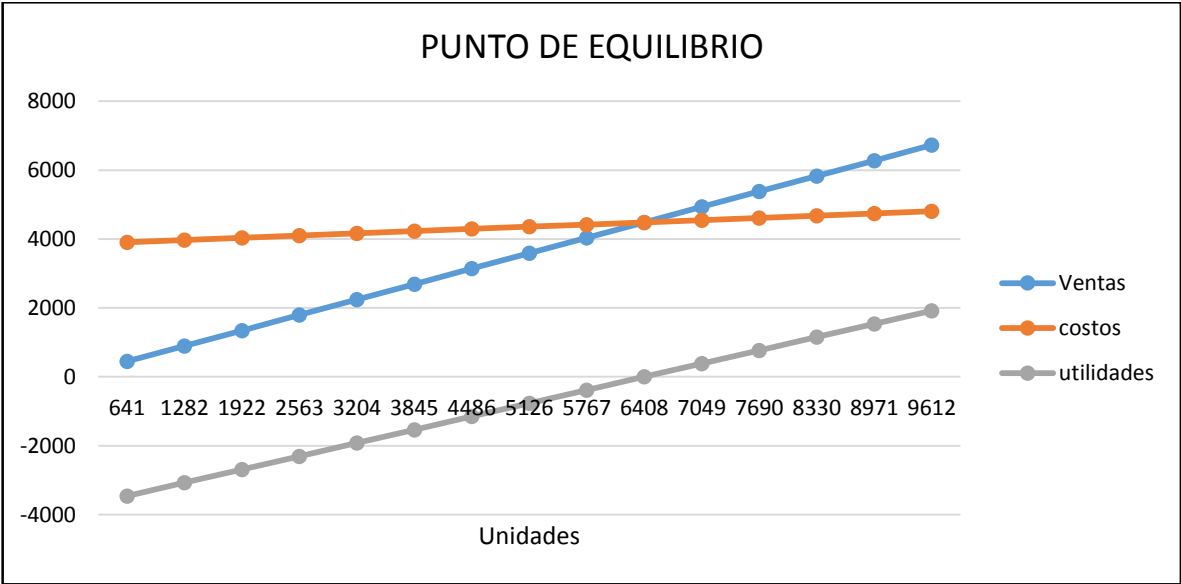
El resultado es el valor 6408, lo que significa que llegaremos al punto de equilibrio al vender 6408 libras de harina con lo cual habremos cubierto todos los costos.

Tabla 16-3: Determinación de ventas, costos y utilidades.

Unidades	Ventas	Costos	Utilidades
641	449	3909	-3461
1282	897	3973	-3076
1922	1346	4037	-2692
2563	1794	4101	-2307
3204	2243	4165	-1923
3845	2691	4229	-1538
4486	3140	4294	-1154
5126	3588	4358	-769
5767	4037	4422	-385
6408	4486	4486	0
7049	4934	4550	384
7690	5383	4614	769
8330	5831	4678	1153
8971	6280	4742	1538
9612	6728	4806	1922

Realizado por: Lilian Ruiz

Gráfica 1-3: Punto de equilibrio

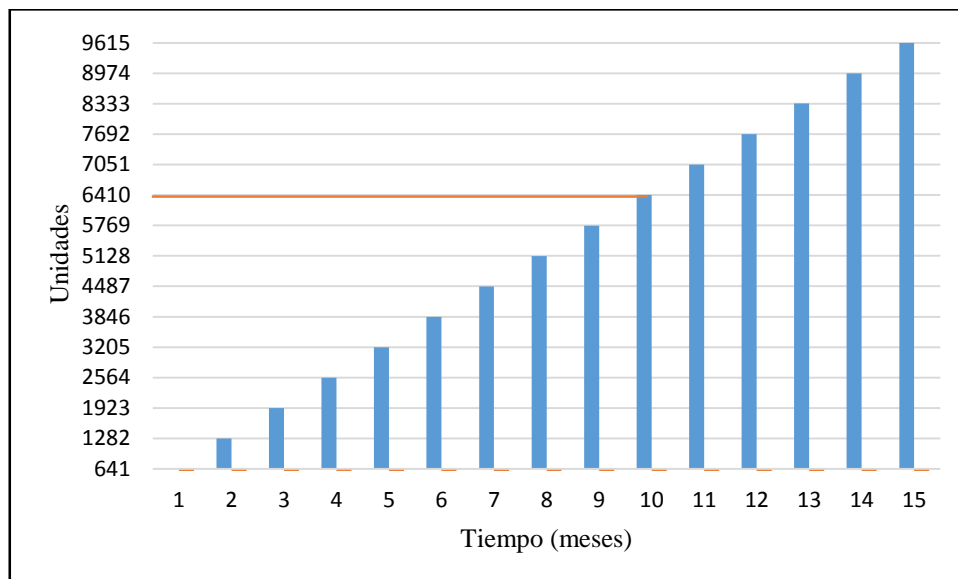


Realizado por: Lilian Ruiz

La línea de Ventas y Costos se intersectan y a partir de ese punto las ventas son mayores.

La línea de Utilidades cruza el eje horizontal indicando que a partir de las 6408 unidades vendidas comenzaremos a tener una ganancia en el negocio.

Gráfica 2-3: Unidades en función del tiempo (mese).



Realizado por: Lilian Ruiz

En la gráfica 2-3 se observa que en el décimo mes se venderán las 6408 unidades que es nuestro punto de equilibrio como se indicó anteriormente y q a partir del décimo mes se obtendrán las ganancias, indicando así que el proyecto es rentable.

3.4 Análisis

Siendo el secado uno de los procesos más utilizados en la industria, es importante contar con el equipo óptimo que facilite dicho proceso, como es el caso del secador de bandejas que ha sido seleccionado para la deshidratación del plátano.

Como primer paso se realizó un análisis bromatológico de la materia prima (muestra húmeda) y se determina los siguientes parámetros 2,73% de proteína; 0,12% de grasa; 1,68% de fibra y 2,48% de azúcares totales; 87% de humedad (Ver Tabla 1-2), lo cual nos servirá para determinar la composición del plátano.

Luego se realiza una simulación del secado en un secador tipo armario, a temperaturas de 70, 60, 50 y 40 °C. Con estos datos realizamos los cálculos de humedad y velocidad de secado (Ver Tablas 3-2, 4-2, 5-2 y 6-2) posteriormente realizamos las gráficas humedad vs tiempo (Ver Gráficas 1-2, 2-2, 3-2, 4-2) y velocidad vs humedad (Ver Gráficas, 5-2, 6-2, 7-2, 8-2). Estas graficas se comparan con las gráficas teóricas que se encuentra en nuestro sustento teórico y se selecciona la temperatura más adecuada.

Posteriormente se determina que la temperatura de secado para el plátano es de 50 °C, debido a que los puntos de dispersión representados son los que más se ajustan al fenómeno del secado con una humedad inicial de 1,202 kg agua/kg solido seco y una humedad final de 0,062 kg agua/kg solido seco. Una vez obtenido el plátano deshidratado se realiza un análisis bromatológicos de la muestra seca y presenta los siguientes parámetros 2,61% de proteína; 0,15% de grasa; 1,65% de fibra; 3,24% de azúcares totales, 1,33% de humedad (Ver Tabla 2-2). Mediante estos resultados podemos apreciar que la muestra seca contiene mayor cantidad de grasas y azúcares totales a diferencia de fibra y proteínas considerando que estos componentes son sensibles al calor presentando así pérdidas menores en la muestra durante el proceso de deshidratación.

A partir de la simulación de secado se identificó las variables del proceso como son la *temperatura* de 50 °C que es la más adecuada para la deshidratación del plátano y la *humedad* la cual se toma en cuenta la humedad crítica de 0,371 kg agua/kg sólido seco y la humedad de equilibrio de 0,04 kg agua/kg sólido seco, (Ver Gráfica7-2).

Mediante la determinación de las variables se identifica dos periodos de secado, la primera es el periodo antecrítico o constante limitada por la humedad crítica teniendo así un tiempo de 1,06 h, mientras que el segundo periodo es el poscrítico o decreciente con un tiempo de 1,8 h, el tiempo total de secado es de 2,86 h.

Con los cálculos de dimensionamiento se determinó que el secador de bandejas tendrá una altura de 0,92 m, longitud de 0,6m y el ancho de 0,53 m, (Ver Tabla 7-3) para una capacidad de 10 kg de plátano distribuidas en 5 bandejas de 2 kg cada una, las bandejas serán de 0,5 m de largo y 0,4 m de ancho (Ver tabla 6-3). El equipo está diseñado de acero inoxidable AISI 304, debido a que este es un material muy resistente al calor y a la corrosión. Para evitar la pérdida de calor se utilizara como aislante lana de vidrio por su disponibilidad en el mercado, mediante los cálculos de ingeniería al

colocar el aislante se obtiene una pérdida de calor de 212,14 W mientras que sin el aislante se posee una pérdida de calor igual a 44549,55 W teniendo así un calor útil de 44337,41 W (Ver Tabla 9-3).

El aire al interior de la cámara de secado será proporcionado mediante un ventilador de 1700 rpm que será ubicado en la parte posterior central del equipo para un flujo de aire uniforme sobre el plátano y la cantidad de calor para calentar el sólido es de 265,67 kcal mediante el empleo de resistencia que serán ubicadas en la parte inferior del secador las cuales necesitan 880,8 W de potencia (Ver Tabla 9-3).

El diseño de nuestro equipo tendrá un costo de \$3085 (Ver Tabla 11-2 y 11-3), mediante la relación costo-beneficio el proyecto es rentable con un valor de 1,79; dónde, por cada dólar que se invierta se obtiene \$0,79. Mientras que el punto de equilibrio indica a partir de 5142 libras de harina vendidos (Ver Grafica 1-3) se tendrá una ganancia en la producción.

CONCLUSIONES

- Se determinó las características del plátano mediante un análisis bromatológicos teniendo así la muestra húmeda 2,73% de proteína; 0,12% de grasa; 1,68% de fibra; 2,48% de azúcares totales. Mientras que la muestra seca deshidratada a 50 °C tiene 2,61% de proteína; 0,15% de grasa; 1,65% de fibra; 3,24% de azúcares totales, con estos resultados podemos apreciar que la muestra seca posee mayor cantidad de nutrientes tales como grasa y azúcares totales.
- Se realizó la simulación de secado del plátano con temperaturas de 40, 50, 60 y 70 °C, después de varios ensayos se determinó que la temperatura a la que debe realizar el secado es de 50 °C con una humedad inicial de 1,202 kg agua/kg solido seco y una humedad final de 0,062 kg agua/kg solido seco. Una vez realizadas las curvas de secado se obtiene la humedad crítica de 0,371 kg agua/kg sólido seco y la humedad equilibrio de 0,04 kg agua/kg sólido seco; y una velocidad constante de 0,341 kg/m²h. El tiempo total de secado fue de 2,68 h.
- Se identificó que las variables críticas en el proceso de secado del plátano son la temperatura y la humedad, en cuanto a la temperatura se determinó que se debe trabajar a 50°C debido a que a esta temperatura existe mayor estabilidad en el proceso de secado, y refiriéndonos a la humedad se obtuvo que el plátano puede secarse hasta una humedad de equilibrio de 0,04 kg agua/kg sólido seco a la cual la materia prima puede ser sometida a los procesos restantes para obtener la harina.
- El secador de bandejas está diseñado para deshidratar 10 kg de plátano, y su diseño consta de una cámara de secado que tendrá 0,92 m de alto, 0,6 m de longitud y 0,53 m de ancho, mientras que las bandejas serán de 0,5 m de largo y 0,4 m de ancho. Además para que en la cámara de secado alcance la temperatura de 50 °C se debe proporcionar de 265,67 kcal con una potencia de 880,8 W y la circulación del aire dentro de la cámara se hará mediante un ventilador de 1700 rpm. Para evitar la disipación del calor se utilizará lana de vidrio, el cual nos permite reducir pérdidas de calor de 44549,55 W a 212,14 W teniendo así un calor útil de 44337,41 W.

RECOMENDACIONES

- No sobrepasar la carga del equipo para evitar daños en el sistema de calefacción y el deterioro del material del cual está construido.
- Implementar el diseño propuesto para que el proyecto sea una realidad que beneficie a la parroquia Veracruz.
- Al operar el equipo no sobrepasar los rangos de temperatura para evitar daños de la materia prima.

BIBLIOGRAFÍA


1. **AYALA, Yennifer et al.** *Plátano* [en línea]. 2011. [Consulta: 10 octubre 2015]. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/platano_tcm7-315357.pdf
2. **BELTRAN T & VELOZ S.**2014. *Diseño y construcción de un secador tipo armario para la deshidratación hasta el diez por ciento de barro* (tesis de grado). Ingeniero químico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. Pp. 9-14.
3. **BRITO MOINA, Hannibal Lorenzo.**2016. *Texto básico de operaciones unitarias III*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. pp. 35-38.
4. **CÁNOVAS BARBOSA, G.** *Secador* [en línea]. 2000. [Consulta: 10 noviembre 2015].pp. 13-16
Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/carrillo_a_j/capitulo1.pdf
5. **CENGEL, Yunus A. & John M. CIMBALA.** 2006. *Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill. Tabla A-9
6. **CHAMPION JEAN.**1968. *El plátano, Técnicas agrícolas y producciones tropicales*. Barcelona. Blume. PP. 11-14.
7. **GEANKOPOLIS, J.** *Procesos de transporte y principios de proceso de operación*. Patria Pp.246, 247.
8. **GUARÁN S & TINILLO I.** *Diseño de construcción de un prototipo deshidratador atmosférico de bandejas discontinuo con circulación forzada de una capacidad de 0,85 m³ utilizando energía solar*. [en línea] 2013 Quito [Consulta: 20 septiembre 2015]. (tesis de grado). Ingeniero mecánico. Universidad politécnica salesiana, sede Quito. Facultad de ingenierías. Carrera de ingeniería mecánica. Pp 86-106.
Disponible en: [file:///C:/Users/COMPUMEGA/Desktop/Downloads/UPS-QK00079%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/COMPUMEGA/Desktop/Downloads/UPS-QK00079%20(1).pdf)

9. **INGEMECHANICA.** *Características mecánicas del acero* [en línea]. [Consulta: 27 octubre 2015].
Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html#seccion3>
10. **JHON C & VICTOR G.** 2012 *Plátano y bananas*. Madrid-España. Mundi-Prensa. pp. 1,289-293.
11. **JIMÉNEZ A & RODRÍGUEZ A.** 2014 *Diseño y construcción de un secador tipo bandejas para biomasa requerido por el CESTTA-ESPOCH*. (tesis de grado). Ingeniero químico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Riobamba. Pp. 17,19, 27, 28.
12. **JORGE CARRANZA & MANUEL SÁNCHEZ.** *Cinética de secado de musa paradisiaca l. "plátano" y manihot esculenta grantz "yuca"* [en línea]. 2002. [Consulta: 13 noviembre 2015] Disponible en:
<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.unapiquitos.edu.pe/pregrado/facultades/alimentarias/descargas/vol2/2.pdf>
13. **MARCILLA GOMIS, A.** *Introducción a las operaciones de separación, Contacto Continuo*. Murcia. Publicaciones de la universidad de Alicante. 1999. Pp. 18.
14. **MC CABE, SMITH, HARRIOTT.** *Operaciones unitarias en ingeniería química*. Sexta edición. Mc Grae Hill. Capítulo 4
15. **MENESES PEREZ, Raúl Oswaldo.** *Elaboración del inventario turístico de las parroquias: Fátima, Canelos y Veracruz del cantón y provincia de Pastaza* [en línea]. 2010. Quito [Consulta: 13 noviembre 2015]. (tesis de grado). Licenciado en Gestión y Gobierno Municipal. Escuela Politécnica del Ejército Departamento de Ciencias Económicas, Administrativas y de Comercio. Pp. 14, 15, 16.
Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2793/1/T-ESPE-030399.pdf>
16. **MILLÁN, José A.** *Software, psicrometría* [en línea]. 1989. [Consulta: 13 noviembre 2015]
Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/CartaPsy.htm>

17. **NASA.** *Tabla de calibres* [en línea]. 2001. [Consulta: 13 noviembre 2015] disponible en:
<http://www.nacionaldeacero.com/tabla-de-calibres>
18. **OCON GARCIA, Joaquín & TOJO BARREIRO, Gabriel.** *Problemas de ingeniería química. Operaciones básicas.* 2 ed. Madrid, Ediciones Aguilar, 1980. v.2. pp. 243,244, 245,262, 263.
19. **SUMITEC.** *Acero inoxidable AISI 304* [en línea]. 2009. [Consulta: 20 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf>
20. **UNAD.** *Secadores* [en línea]. 2000. [Consulta: 13 noviembre 2015] disponible en:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211618/EXELARNING/leccion_50_secadores.html
21. **VERNOR CARTER, Jaime.** *Secador de charolas* [en línea]. 2012. [Consulta: 20 octubre 2015].Disponible en:
<http://cbi.izt.uam.mx/iq/Laboratorio%20de%20Operaciones%20Unitarias/Practicas%20Laboratorios/PRACTICA6.pdf>

ANEXOS

Anexo A. Análisis bromatológico– Muestra húmeda



Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

EXAMEN BROMATOLOGÍCO DE ALIMENTOS
CÓDIGO: 561-15




CLIENTE: Srta. Lilian Ruiz
TIPO DE MUESTRA: Plátano fresco
FECHA DE RECEPCIÓN: 03 de diciembre del 2015
FECHA DE MUESTREO: 03 de diciembre del 2015

EXAMEN FÍSICO
COLOR: Característico
OLOR: Característico
Aspecto : Normal, ausencia de material extraño

EXAMEN QUÍMICO

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Proteína	%	INEN 1670	2.73
Grasa	%	INEN 523	0.12
Fibra	%	INEN 522	1.68
Azúcares totales	%	INEN 389	2.48

RESPONSABLES:



Dra. Gina Álvarez R.

Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes (Cerca de la Nueva Puerta Escondida - Fado)
Contactos: 0998580374 - 0984648617- 032942322 - 032360260
Riobamba - Ecuador

Anexo B. Análisis Bromatológico - Muestra seca



EXAMEN BROMATOLOGÍCO DE ALIMENTOS

CÓDIGO: 560-15

CLIENTE: Srta. Lilian Ruíz

TIPO DE MUESTRA: Plátano deshidratado y triturado

FECHA DE RECEPCIÓN: 03 de diciembre del 2015

FECHA DE MUESTREO: 03 de diciembre del 2015

EXAMEN FÍSICO

COLOR: Característico

OLOR: Característico

Aspecto : Normal, ausencia de material extraño

EXAMEN QUÍMICO

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO DE ANÁLISIS	RESULTADO
Proteína	%	INEN 1670	2.61
Grasa	%	INEN 523	0.15
Fibra	%	INEN 522	1.65
Azúcares totales	%	INEN 389	3.24

RESPONSABLES:

Dra. Gina Álvarez R.

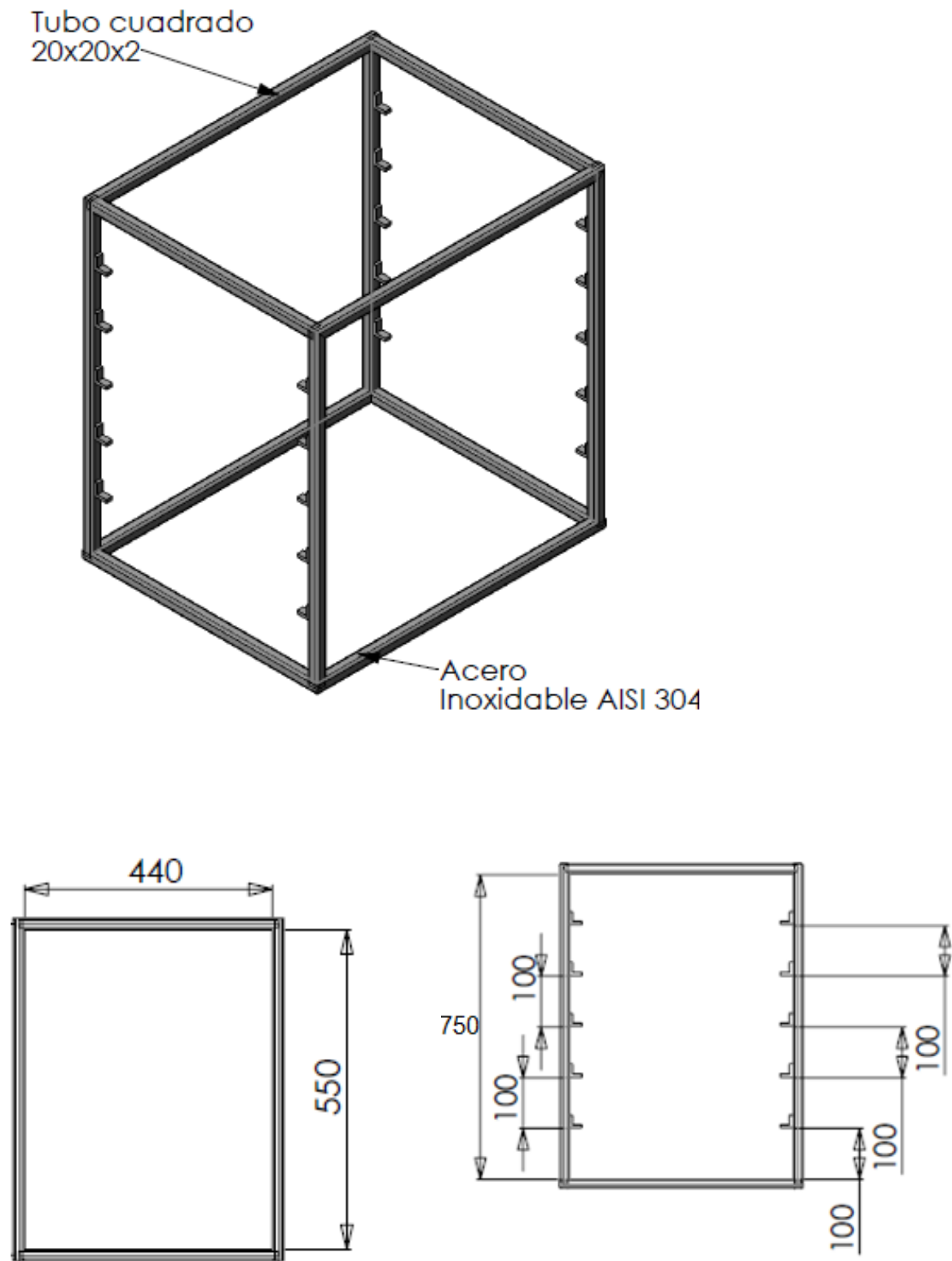
Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo; el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

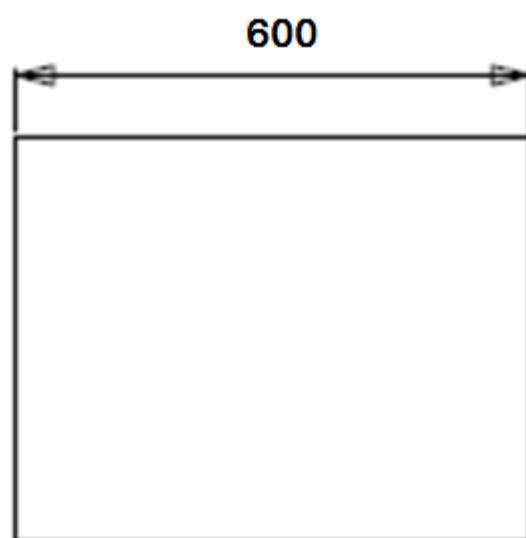
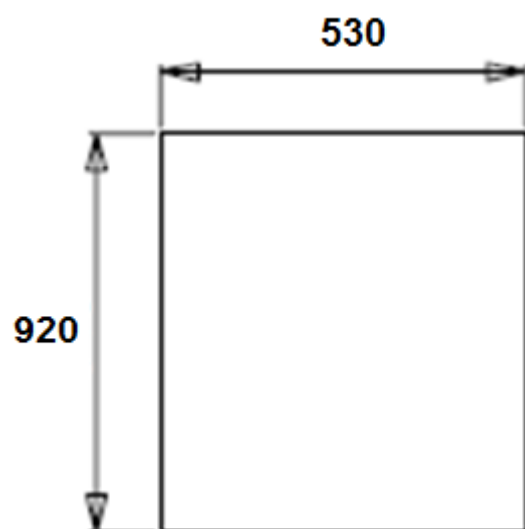
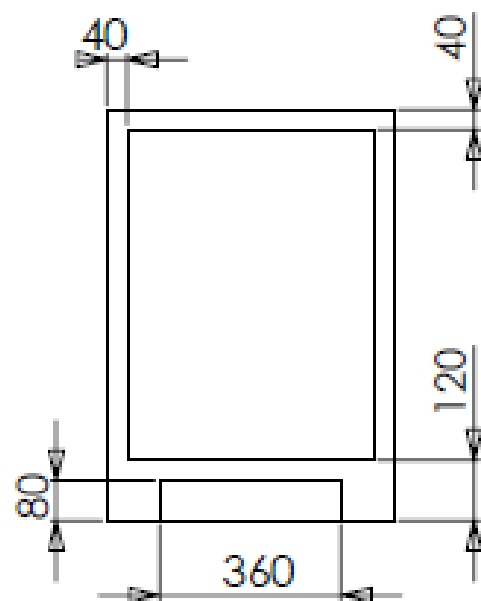
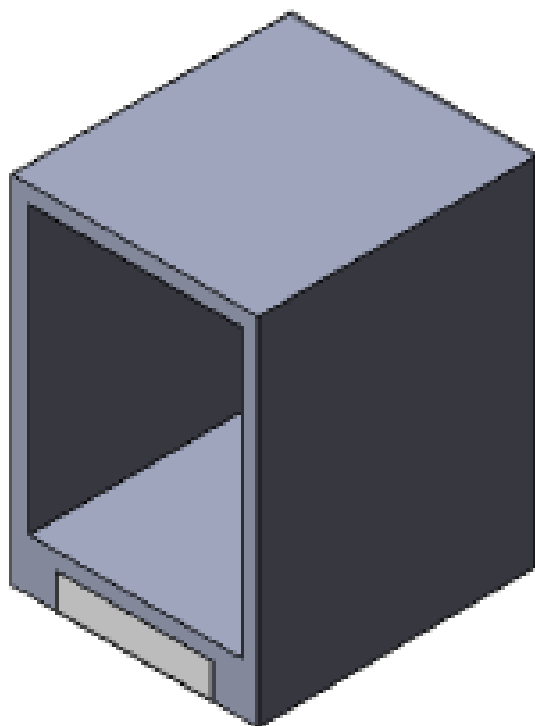
Anexo C. Simulación del proceso de secado del plátano.



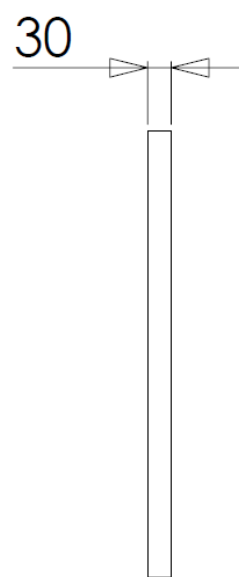
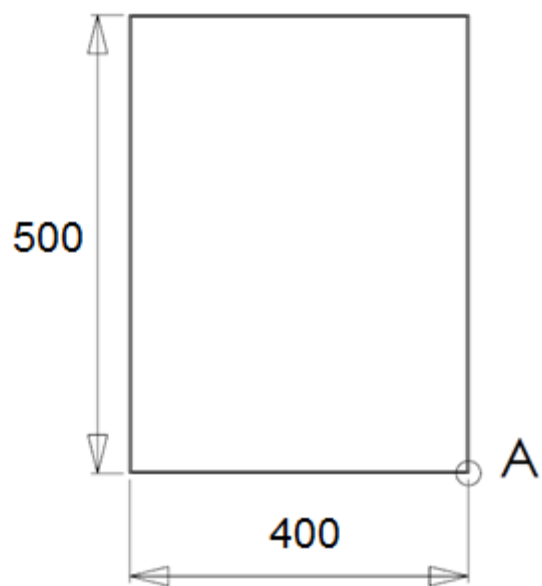
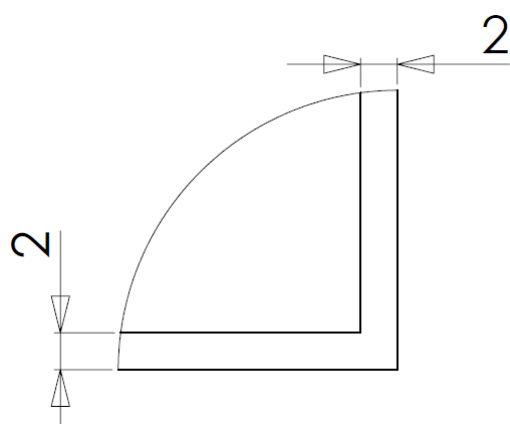
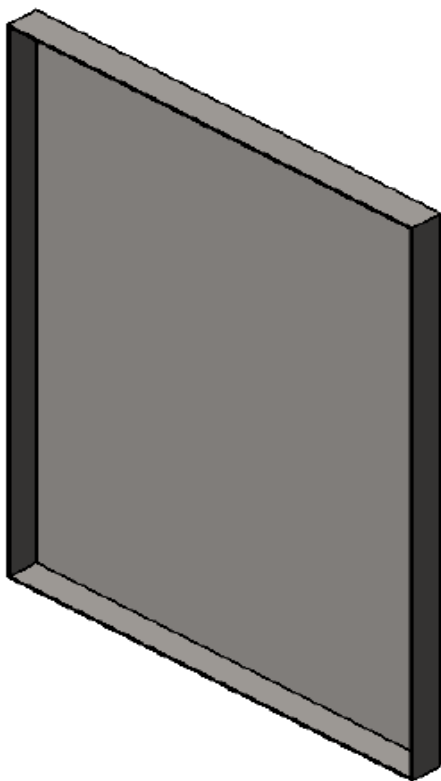
Anexo D. Cámara interna del secador de bandejas.



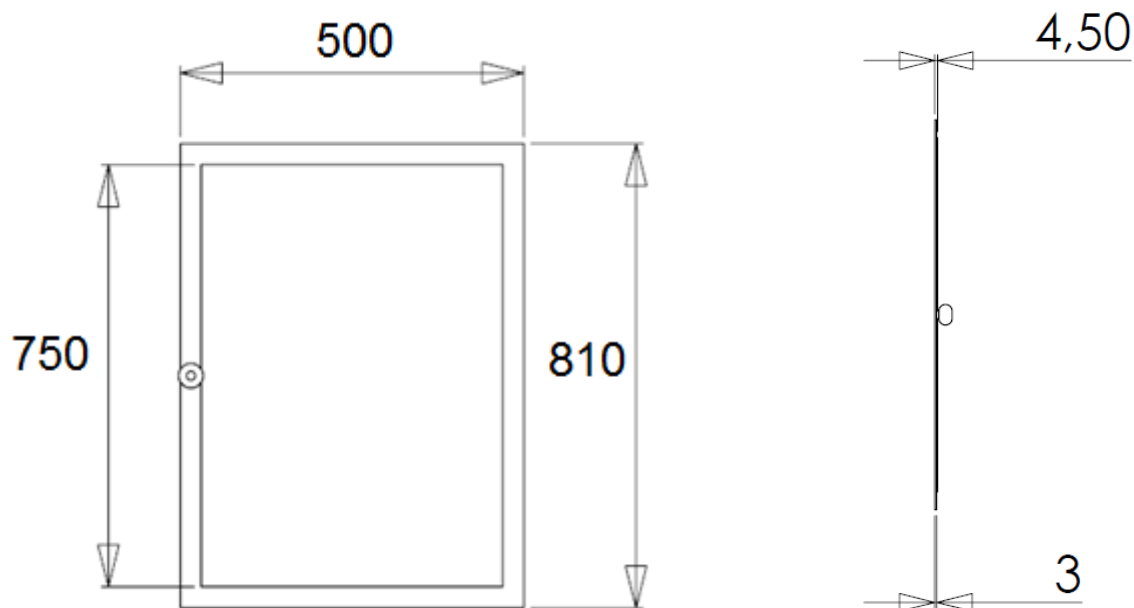
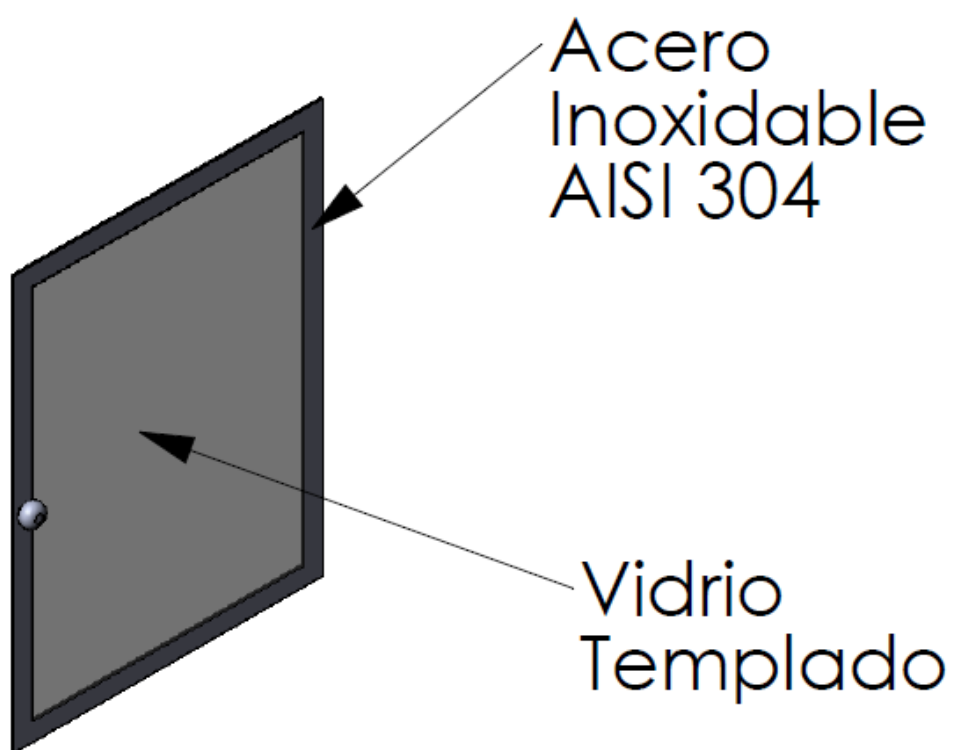
Anexo E. Cámara externa del secador de bandejas.



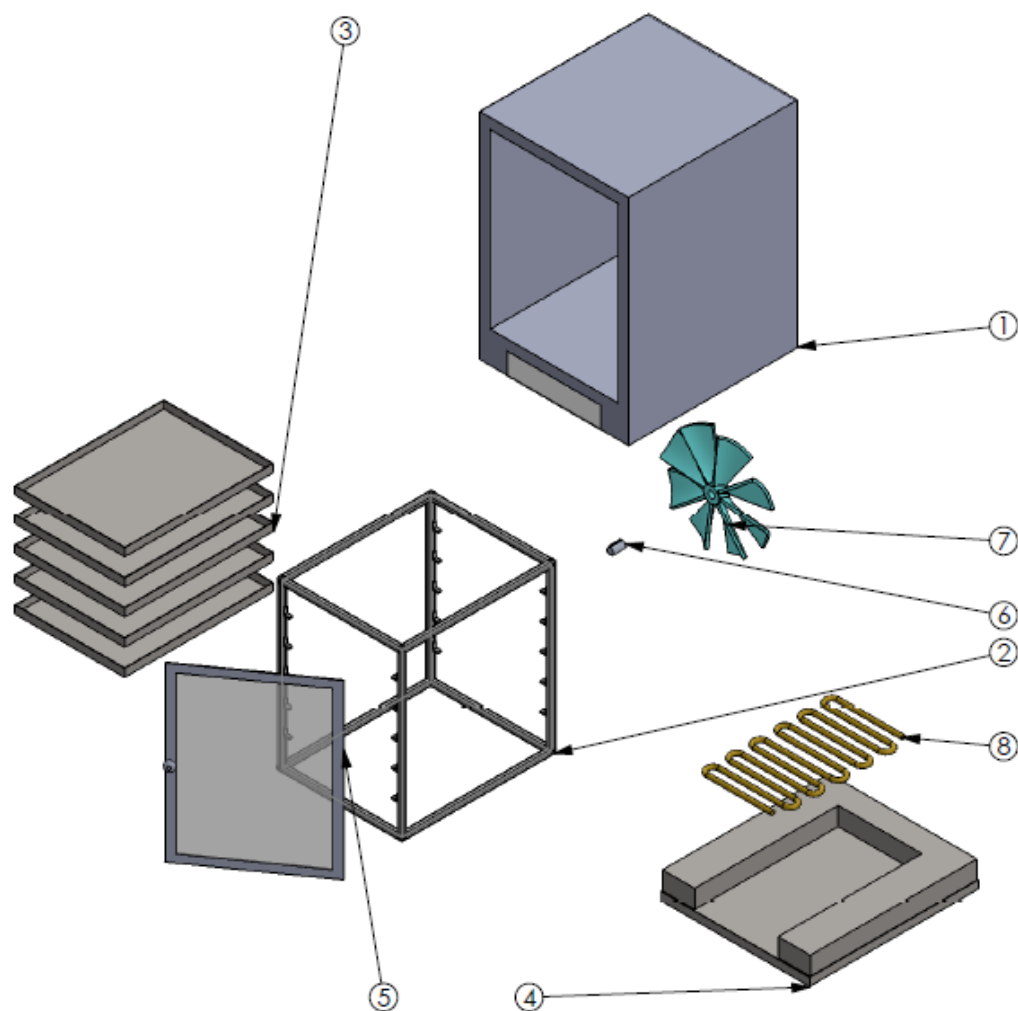
Anexo F. Bandeja.



Anexo G. Tapa del secador de bandejas.

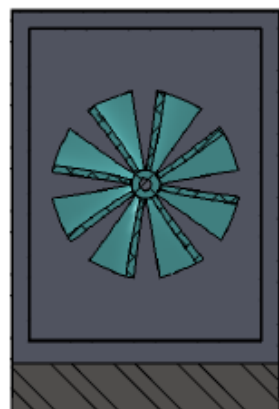


Anexo H. Despliegue del equipo

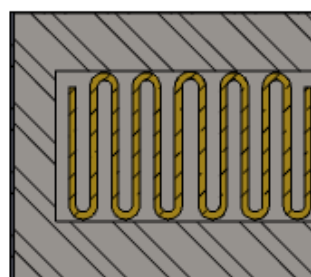
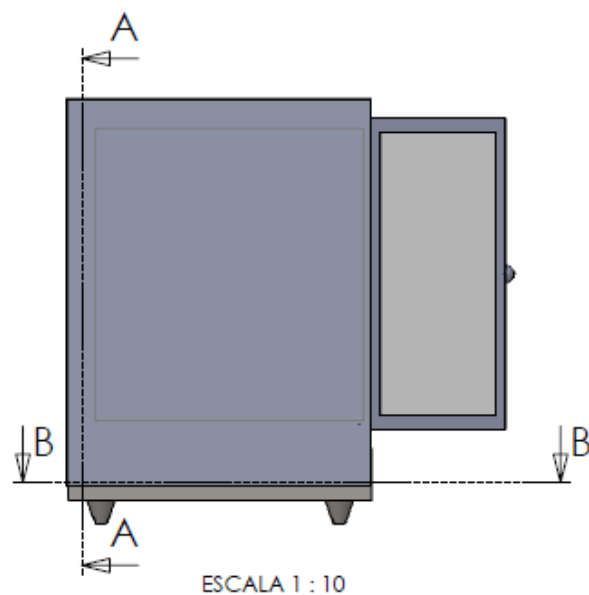


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	camara exterior		1
2	camara interna		1
3	bandeja		5
4	base		1
5	tapa		1
6	eje ventilador		1
7	ventilador		1
8	resistencia		1

Anexo I. Secciones del equipo



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 10

